

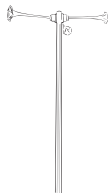
Intercomparación de monitores de gas radón en condiciones de campo

Saelices el Chico (España), marzo 2016

José Luis Gutiérrez-Villanueva, Carlos Sainz Fernández, Ismael Fuente Merino,
Jorge Quindós López, Luis Quindós López, Santiago Celaya González,
Alicia Fernández Villar, David López Abascal,
Enrique Fernández López, Luis Santiago Quindós Poncela

**Intercomparación
de monitores de gas radón
en condiciones de campo**

Colección Difunde #216



Consejo Editorial

Presidente: José Ignacio Solar Cayón

Área de Ciencias Biomédicas: Jesús González Macías

Área de Ciencias Experimentales: M^a Cecilia Pola Méndez

Área de Ciencias Humanas: Fidel Ángel Gómez Ochoa

Área de Ingeniería: Luis Villegas Cabredo

Área de Ciencias Sociales: Miguel Ángel Bringas Gutiérrez

Directora Editorial: Belmar Gándara Sancho

Intercomparación de monitores de gas radón en condiciones de campo

19 de febrero de 2016

Autores

J. L. Gutiérrez-Villanueva, C. Sainz Fernández, I. Fuente Merino,
J. Quindós López, L. Quindós López, S. Celaya González, A. Fernández Villar,
D. López Abascal, E. Fernández López y L. S. Quindós Poncela



Editorial
Universidad
Cantabria

Intercomparación de monitores de gas radón en condiciones de campo : 19 de febrero de 2016 / autores, J.L. Gutiérrez-Villanueva... [et al.]. – Santander : Editorial de la Universidad de Cantabria, D.L. 2016.

85 p : il ; 24 cm. – (Difunde ; 216)

Mediciones realizadas en el laboratorio de radiación natural de la mina de uranio de Saelices el Chico (Salamanca), organizado por el Grupo Radón de la Universidad de Cantabria.

D.L. SA. 129-2016. – ISBN 978-84-86116-97-2

1. Radón – Medición. I. Gutiérrez-Villanueva, José Luis. II. Universidad de Cantabria. Grupo Radón.

546.296:535.231.6

IBIC: PDDM, TBMM, PHVD, 2ADS, 3JMG

Esta edición es propiedad de la EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, cualquier forma de reproducción, distribución, traducción, comunicación pública o transformación solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

© José Luis Gutiérrez-Villanueva, Carlos Sainz Fernández, Ismael Fuente Merino, Jorge Quindós López, Luis Quindós López, Santiago Celaya González, Alicia Fernández Villar, David López Abascal, Enrique Fernández López y Luis Santiago Quindós Poncela

© Editorial de la Universidad de Cantabria
Avda. de los Castros, 52 - 39005 Santander
Tlfno.-Fax: 942 201 087
www.editorialuc.es

ISBN: 978-84-86116-97-2

D. L.: SA 129-2016

Impreso en España - *Printed in Spain*

Impresor: Gráficas Copisán

Índice general

1. Introducción	7
2. Participantes	8
3. Descripción de la instalación	10
4. Parámetros del ejercicio	12
4.1. Parámetros ambientales	12
4.2. Condiciones de homogeneidad de concentración de radón dentro de la sala de exposición	14
4.3. Valores de referencia	17
4.4. Condiciones del ejercicio	19
5. Resultados y discusión	20
5.1. Análisis de valores medios y varianzas	20
5.1.1. Estadísticos descriptivos de cada participante	20
5.1.2. Estudio de las varianzas de los equipos participantes	28
5.1.3. Gráficos estadísticos h -Mandel y de Youden	32
5.2. Correlaciones lineales y factores de corrección	35
5.2.1. Correlaciones entre el equipo de referencia y cada participante	35
5.2.2. Factores de corrección	39
5.3. Estudio de casos particulares	42
5.3.1. Factor de corrección y valores medios	42
5.3.2. Correlaciones lineales	43
6. Agradecimientos	44

Apéndices

A.	Gráficas de los equipos participantes. Parte 1: intervalos de 10 min	47
B.	Gráficas de los equipos participantes. Parte 1: intervalos de 60 min	63
C.	Resumen de los datos de concentración y exposición de los participantes	82

Índice de tablas

1.	Lista de participantes en el Ejercicio de Intercomparación organizado por el Grupo Radón (Universidad de Cantabria) en el laboratorio de radiación natural de la mina de uranio de Saelices el Chico	9
2.	Resumen estadístico del equipo de referencia en las dos concentraciones consideradas. Los valores de los parámetros están expresados en Bq m ⁻³ . a: intervalos de medida de 10 minutos; b: intervalos de medida de 60 minutos	19
3.	Resumen estadístico de los participantes en baja exposición. Los valores de los parámetros están expresados en Bq m ⁻³ . SD = Desviación estándar; GSD: Desviación geométrica estándar; ϕ -valor ($\alpha = 0,05$)	21
4.	Resumen estadístico de los participantes en alta exposición. Los valores de los parámetros están expresados en Bq m ⁻³ . SD = Desviación estándar; GSD: Desviación geométrica estándar; ϕ -valor ($\alpha = 0,05$)	23
5.	Resultados de la comparación varianzas entre el equipo de referencia y cada participante en baja exposición. ϕ -valor ($\alpha = 0,05$)	28
6.	Resultados de la comparación varianzas entre el equipo de referencia y cada participante en alta exposición. ϕ -valor ($\alpha = 0,05$)	30
7.	Resultados del estudio de las correlaciones entre cada participante y el equipo de referencia. β_0 : ordenada en el origen con su incertidumbre entre paréntesis; β_1 : pendiente con su incertidumbre entre paréntesis; ϕ -valor ($\alpha = 0,05$)	36
8.	Resumen de los factores de calibración de los equipos usados por los participantes durante el ejercicio en las dos exposiciones	39

9.	Ejemplos de equipos que presentan el mejor y peor comportamiento lineal frente al equipo de referencia	44
C.1.	Resumen de las concentraciones y exposiciones de cada equipo participante. Los valores de exposición (Exp) aparecen en $\text{kBq m}^{-3} \text{ h}$ y los de concentración (Con) en Bq m^{-3}	82

Índice de figuras

1. Resumen gráfico de los equipos empleados en el ejercicio de intercomparación	10
2. Edificio principal del laboratorio de radiación natural en la antigua mina de Saelices el Chico (Salamanca, Spain)	11
3. Variación de los parámetros ambientales durante el ejercicio de intercomparación llevado a cabo en mayo de 2015	12
4. Aspecto de la disposición de los equipos durante el ejercicio de intercomparación	13
5. Situación de los equipos participantes durante el proceso final del ejercicio consistente en la desgasificación	14
6. Serie temporal de temperatura en la sala donde se realizó la exposición de los equipos	15
7. Posiciones de monitores de radón dentro de la sala de exposición para estudiar la homogeneidad	15
8. Gráficos box-plot de los resultados de los seis equipos Radon Scout empleados en el estudio de la homogeneidad de la sala	16
9. Concentración de radón medida por el equipo de referencia durante el ejercicio de intercomparación	18
10. Exposiciones medias de los participantes comparadas con el valor medio aportado por el equipo de referencia en baja exposición. La línea de trazos representa el valor medio del equipo de referencia y el área sombreada corresponde a la desviación estándar del equipo de referencia	26
11. Exposiciones medias de los participantes comparadas con el valor medio aportado por el equipo de referencia en alta exposición. La línea de trazos representa el valor medio del equipo de referencia y el área sombreada corresponde a la desviación estándar del equipo de referencia	27

12. Representación del estadístico h de Mandel en cada equipo	33
13. Gráfico de Youden para comparar los participantes con las concentraciones de referencia	34
14. Ampliación del gráfico de la Figura 13 para bajas concentraciones .	35
15. Dos ejemplos de equipos con valores medios de concentración aceptables pero no así sus factores de corrección en intervalos de integración de 60 minutos	43

1. Introducción

La instrucción IS 33 del Consejo de Seguridad Nuclear del 21 de diciembre de 2011 [1] marcó un hito en la normativa que establece criterios definidos para la exposición frente a la radiación natural. Este documento establece criterios radiológicos específicos para la protección de los trabajadores en los lugares de trabajo frente a la radiación natural. En particular, establece valores para las concentraciones de radón que, en caso de ser superados, requerirán acciones correctivas o dispositivos de vigilancia. Conviene indicar que esta instrucción hace referencia a la protección de trabajadores, sin mencionar al público en general.

Apenas dos años más tarde de la publicación de la IS 33, el Consejo Europeo publicó las denominadas EU BSS (European Union Basic Safety Standards) [2] sobre la protección frente a los peligros derivados de la exposición a radiación ionizante. Se trataba de establecer un marco común de patrones de seguridad básicos a fin de proteger la salud de las personas. En particular, dicha normativa se refiere a las situaciones de exposición existentes, en las que se incluye al gas radón y los miembros del público, además de considerar también la exposición debido a materiales de construcción y otras posibles situaciones. Mención especial merece el anexo XVIII de esta directiva europea dado que establece una lista de puntos a cubrir por los planes nacionales para manejar los riesgos de la exposición al radón, no sólo de los trabajadores sino también del público en general.

Las normativas citadas anteriormente y su aplicación, necesariamente requieren servicios de medida competentes. Es por ello que resulta tremendamente importante el asegurar que los resultados proporcionados por los diferentes laboratorios o empresas que realicen las medidas sean lo más precisos y exactos posible. Con este propósito, la forma más habitual de comprobar la calidad de las medidas es mediante ejercicios de intercomparación realizados por laboratorios de referencia (por ejemplo podemos citar aquéllos llevados a cabo por la BfS (Bundesamt für Strahlenschutz, Alemania) o la PHE (Public Health England) como los más relevantes).

Los ejercicios de intercomparación son una herramienta muy útil para detectar problemas en las medidas y poder ejecutar las acciones correctoras correspondientes. Del mismo modo sirven como herramienta para poder calibrar instrumentos frente a patrones internacionales. El escenario más habitual en un ejercicio de intercomparación es la exposición del instrumento en una atmósfera en la que el parámetro que se desea medir (en nuestro caso

el radón) mantiene una concentración constante. Igualmente las condiciones ambientales suelen permanecer inalteradas durante el ejercicio. Sin embargo, esta no resulta ser la situación que luego encontramos en un edificio cuando realizamos una medida de gas radón. Es por ello que el disponer de laboratorios donde poder llevar a cabo pruebas en las que las condiciones, tanto de gas radón como de parámetros ambientales, varíen es esencial.

El Grupo Radón de la Universidad de Cantabria dispone de un edificio donde los valores de radiactividad natural (en particular la concentración de gas radón) alcanzan valores suficientemente elevados que generan condiciones idóneas para poder verificar instrumentos de medida. A esta situación se añaden variaciones de temperatura, humedad y presión atmosférica similares a las que podemos encontrar en los edificios (tanto viviendas como puestos de trabajo). Este lugar se encuentra en la antigua mina de uranio de ENUSA localizada en Saelices el Chico (Salamanca). En este laboratorio se han llevado a cabo diversos ejercicios de intercomparación desde 2011 en los que han participado más de 60 instituciones de diversos países [3, 4, 5].

Con el apoyo de la empresa TECNASA, el grupo radón organizó un ejercicio de intercomparación con monitores de medida de gas radón en continuo en el mes de mayo de 2015. Este informe recoge los resultados más relevantes que se obtuvieron junto con unas conclusiones y un resumen de los datos proporcionados por todos los participantes.

2. Participantes

Un número total de 25 instituciones tomaron parte en el ejercicio pertenecientes tanto a universidades y entidades públicas como empresas privadas al igual que algún particular. La Tabla 1 resume los participantes junto con la forma de contacto de cada uno de ellos. A la hora de analizar los resultados, cada participante está identificado por un código alfanumérico para poder garantizar la confidencialidad de resultados. Dicho código tiene la forma IFC15-ij, siendo ij un número que identifica de forma unívoca al participante. En aquellos casos en los que un mismo participante decidió incluir más de un equipo, al código anterior se le añaden otros dos dígitos más, nm, de manera que se identifica el equipo del mismo participante.

Tabla 1: Lista de participantes en el Ejercicio de Intercomparación organizado por el Grupo Radón (Universidad de Cantabria) en el laboratorio de radiación natural de la mina de uranio de Saelices el Chico.

Participante	E-mail
Calidad Radiológica S.L.	calidad@calidadradiologica.com
CIEMAT (Protección radiológica)	alicia.alvarez@ciemat.es
CIEMAT (Programa de Recuperación Radiológica Ambiental)	enrique.correa@ciemat.es
Control y Estudios	gonzalo.guzman@controlystudios.com
GD Energy Services SAU	bmora@gdes.com
GEOCISA	mgomezdeg@geocisa.com
GEOMNIA	esanz@geomnia.es
Instituto de Salud Carlos III	jcastro@isciii.es
Radiansa Consulting	Martyn.key@radiansa.com
RADUCAN S.L.	fuellei@unican.es
Universidad de Cantabria	sainzc@unican.es
Universidad de Coimbra	ppinto@radosys.com; apereira@det.uc.pt
Universidad de Extremadura (Badajoz)	ams@umex.es
Universidad de Extremadura (LARUEX)	ymiralle@gmail.com
Universidad de Granada	ferro@ugr.es
Universidad de Huelva	fernando.mosqueda@dfa.uhu.es
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	jesus.garciarubiano@ulpgc.es
Universidad de Málaga	scanete@uma.es
Universidad de Oviedo	tbuergo@uniovi.es
Universidad Politécnica de Madrid	Eduardo.demiguel@upm.es
Universidad Politécnica de Valencia	bejusvi@iqn.upv.es
Universidad de Santiago de Compostela	Juanm.barros@usc.es
Universidad de Valencia	Vanesa.Delgado@uv.es
Universidad de Zaragoza	carmpm@unizar.es

Los participantes recogidos en la Tabla anterior participaron con un total de 52 equipos que se resumen en las categorías siguientes: Alphaguard, AlphaE, Doseman, EQF, RAD7, RSTONE, RTM, Radon sensor, Radon Scout y Radon Scout Plus. La Figura 1 resume el número de equipos por categoría empleado en este ejercicio, siendo la mayoría Alphaguard, Radon Scout y RAD7.

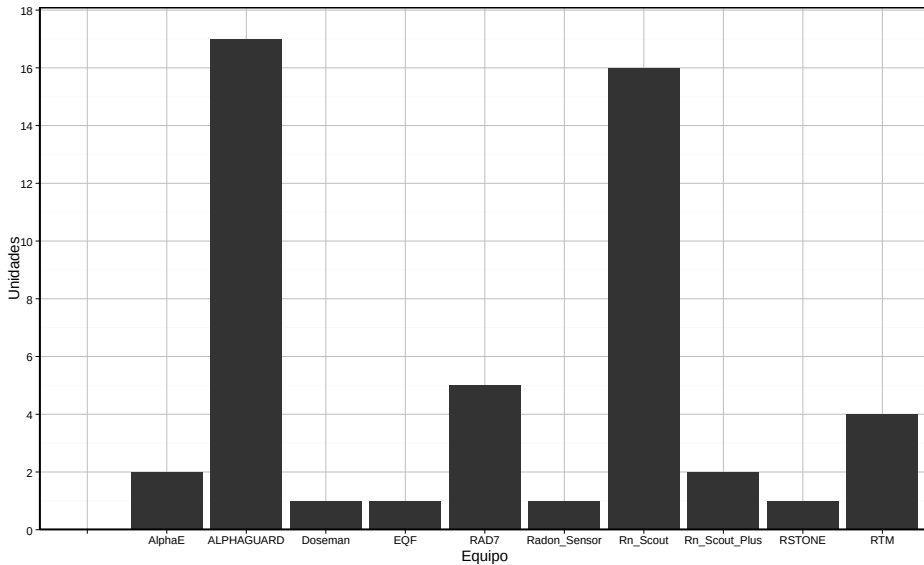


Figura 1: Resumen gráfico de los equipos empleados en el ejercicio de intercomparación

3. Descripción de la instalación

El recinto donde tuvo lugar el ejercicio se localiza en una zona de elevados niveles de radiación natural junto con variaciones típicas de temperatura, presión y humedad. Es por ello que es posible simular las condiciones usuales que se encuentran en los lugares donde se miden niveles de radón, tanto en centros de trabajo como en viviendas. Este lugar pertenece a la empresa ENUSA y se encuentra en sus instalaciones de la antigua mina e uranio de Saelices el Chico (Salamanca).

La mina se cerró en 2004 y desde entonces se ha estado llevando a cabo un proceso de restauración. Durante el desarrollo de estas actividades, el Grupo Radón propuso a la dirección de la mina la reutilización del edificio principal de control de las actividades de extracción y su reconversión en un laboratorio donde se pudieran alcanzar de manera natural niveles elevados de radiación natural y en particular gas radón. El Grupo Radón junto con ENUSA y el CSN se encargaron de la rehabilitación del edificio y en el año



Figura 2: Edificio principal del laboratorio de radiación natural en la antigua mina de Saelices el Chico (Salamanca, Spain)

2011 se celebró el primer Ejercicio de Intercomparación a nivel internacional contando con más de 40 participantes de al menos 12 países europeos [3]. Este edificio es un lugar idóneo para poder analizar y probar equipos y detectores que se emplean de forma común en la medida de radiación natural (por ejemplo dosis de radiación gamma externa y gas radón). La Figura 2 muestra una perspectiva general del edificio.

Se trata de un edificio de dos plantas con cuatro habitaciones en la planta a nivel de suelo. Una de esas habitaciones se emplea para realizar medidas de calibración de equipos medidores de gas radón en agua. La planta 0 dispone de espacios de trabajo para 30 grupos y de dos habitaciones que se emplean como cámaras de radón. Ambas habitaciones tienen un volumen similar y en una de ellas se puede disponer de ventilación artificial si se requiere para el experimento. La fuente de gas radón procede del subsuelo de las habitaciones, siendo de esta forma una fuente de radón natural y sometida a las variaciones de los parámetros ambientales. La Figura 3 muestra las variaciones de

temperatura, humedad, presión, y velocidad del viento durante el ejercicio objeto de este informe.

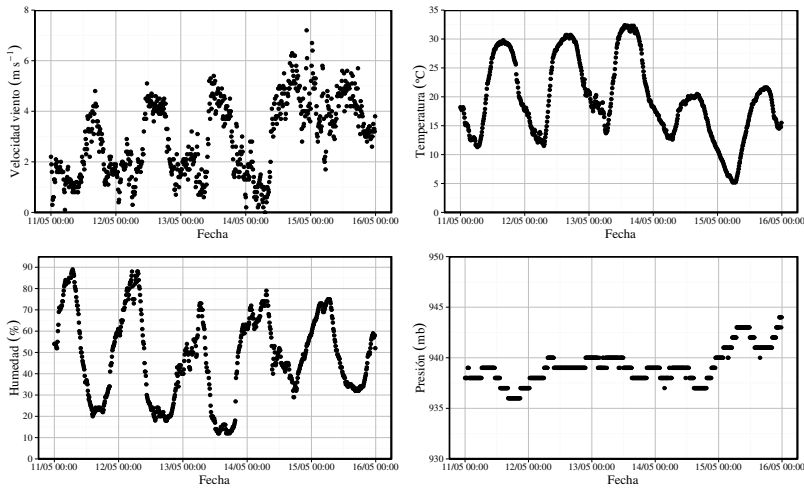


Figura 3: Variación de los parámetros ambientales durante el ejercicio de intercomparación llevado a cabo en mayo de 2015.

Finalmente, la parte superior del edificio dispone de una sala de conferencias y un espacio de gran volumen para estudiar equipos en condiciones de bajas concentraciones de radón. Igualmente es posible emplear equipos de ventilación forzada si se requiere. La parte externa del laboratorio consiste en dos zonas donde se pueden medir los niveles de tasa de radiación gamma externa en un margen elevado de valores [6]

4. Parámetros del ejercicio

4.1. Parámetros ambientales

El ejercicio de intercomparación consistió en la exposición de monitores de medida de gas radón en continuo a una atmósfera de concentración de radón dentro de una sala cuyo volumen es de aproximadamente 45 m³. Dado que como ya hemos explicado los niveles de radón dentro de la habitación se ven alterados por las variaciones de las condiciones ambientales, se trataba

pues de simular las condiciones reales que podemos encontrar en una vivienda o centro de trabajo. El ejercicio tuvo lugar entre las 13:00 del 11 de mayo y las 15:00 del 15 de mayo de 2015. La Figura 4 muestra la disposición de los equipos en la sala durante el desarrollo del ejercicio.

Con el fin de llevar a cabo un proceso de degasificación, al término del ejercicio los equipos se retiraron al exterior del laboratorio donde estuvieron expuestos durante unas 2 horas aproximadamente. La Figura 5 muestra el lugar donde se llevó a cabo este proceso.



Figura 4: Aspecto de la disposición de los equipos durante el ejercicio de inter-comparación.

Además de equipos de medida de radón, se colocaron dos sensores de temperatura para poder medir las variaciones de este parámetro durante el experimento. Los sensores se colocaron en dos posiciones por encima de la mesa de trabajo de la sala y, como se puede apreciar en la Figura 6, la temperatura en el interior de la habitación se mantuvo bastante constante durante todo el tiempo de exposición. Sin embargo, este no es el caso de la temperatura del exterior como se aprecia en la misma Figura y que muestra como el rango de temperatura del exterior del laboratorio fue muy amplio ($5\text{-}32\text{ }^{\circ}\text{C}$), siendo especialmente acusado en la última parte de la exposición.



Figura 5: Situación de los equipos participantes durante el proceso final del ejercicio consistente en la desgasificación.

4.2. Condiciones de homogeneidad de concentración de radón dentro de la sala de exposición

Para poder asegurar que las concentraciones de radón a las que están expuestos los participantes son similares, resulta esencial verificar la homogeneidad de la concentración de dicho gas en el volumen de la sala. Para ello en el anterior ejercicio de intercomparación [4] se llevó a cabo dicho estudio mediante el uso de 6 monitores modelo Radon Scout colocados en diferentes posiciones dentro del recinto como se observa en la Figura 7.

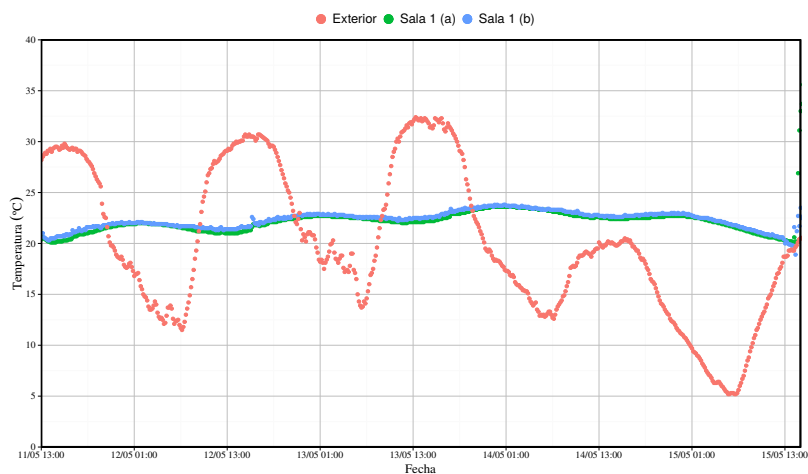


Figura 6: Serie temporal de temperatura en la sala donde se realizó la exposición de los equipos.



Figura 7: Posiciones de monitores de radón dentro de la sala de exposición para estudiar la homogeneidad.

Cada monitor proporcionó un total de 91 valores de concentración de radón que podemos comparar asumiendo que la respuesta de cada equipo es

la misma¹. Para ello, primeramente hacemos un análisis exploratorio de los datos mediante diagramas tipo box-plot como muestra la Figura 8. La línea horizontal representa la mediana y, si prestamos atención al rango intercuantil podemos observar como la variabilidad de los datos es similar en todos los casos. Además, los valores del primer y tercer cuartil son también comparables. Tan sólo apreciamos valores anormalmente elevados en el caso de las altas concentraciones que pueden ser debidos a picos en la concentración de radón durante el experimento. No obstante no observamos valores anómalos en las bajas concentraciones.

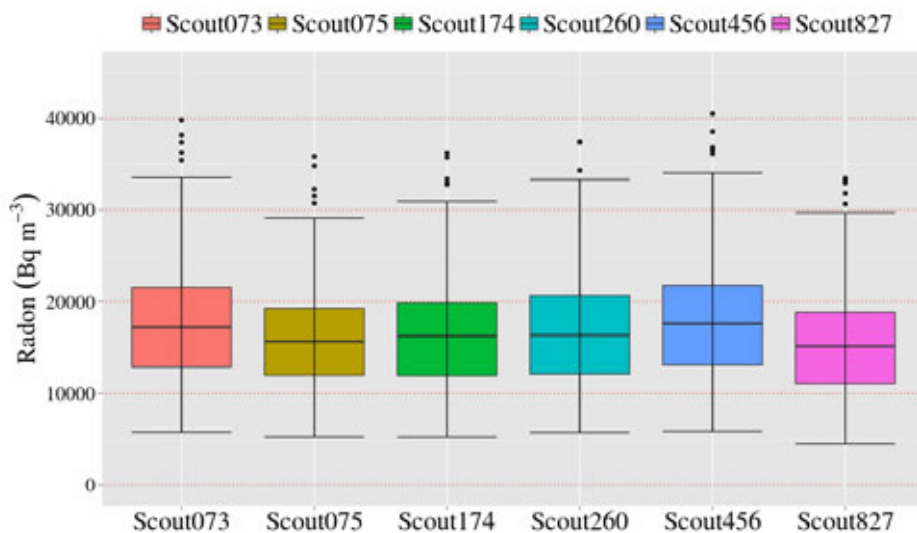


Figura 8: Gráficos box-plot de los resultados de los seis equipos Radon Scout empleados en el estudio de la homogeneidad de la sala.

Si hacemos un análisis más en detalle de las series temporales de las concentraciones medidas por los seis equipos, podemos apreciar que corresponden a una distribución tipo log-normal (p -values de 0.288 a 0.5362). Mediante un test tipo no paramétrico (Krusal-Wallis) se puede concluir que no existe

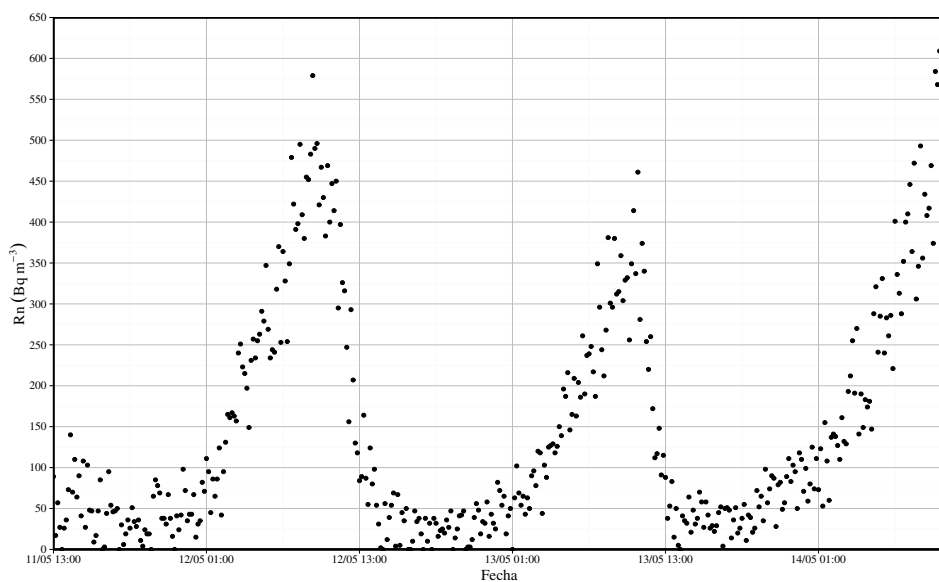
¹La comprobación de la igualdad de respuesta de cada equipo Radon Scout se realizó en la cámara de radón de 1 m³ que el Grupo Radón tiene en la Universidad de Cantabria. En dicha comprobación se emplearon los equipos Alphaguard y RTM2100 trazados ambos al PTB.

evidencia estadística para sugerir diferencias entre las distribuciones de los seis monitores. Del mismo modo, existe homogeneidad en las varianzas de los equipos. De esta forma resulta razonable asumir condiciones de homogeneidad en la concentración de radón dentro de la sala donde se desarrolló el ejercicio.

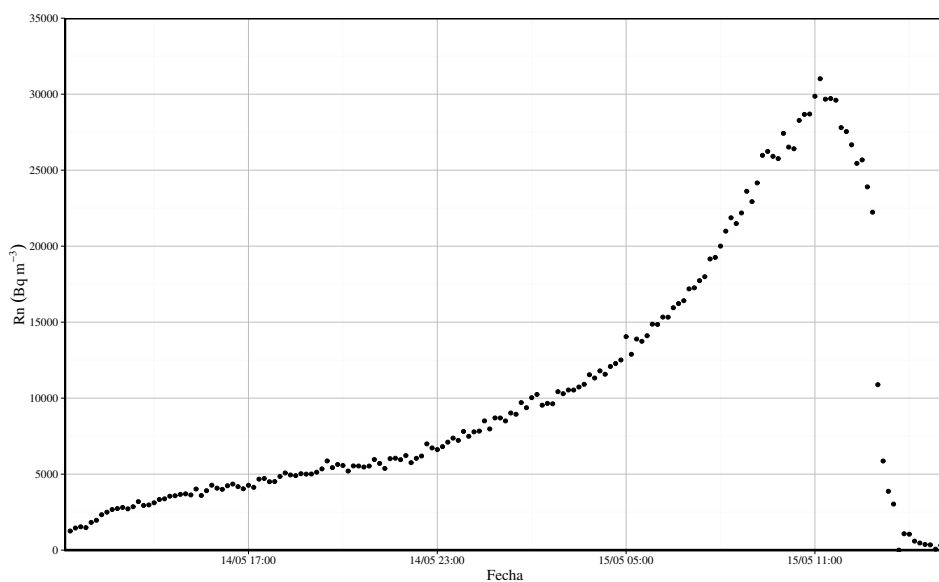
4.3. Valores de referencia

Para poder disponer de valores de referencia con los que poder comparar, se empleó como equipo de referencia un ATMOS12 calibrado en 2014 en las instalaciones de la agencia sueca de protección radiológica. Este equipo estuvo midiendo en continuo a intervalos de 10 minutos desde las 09:00 del 11 de mayo hasta las 16:00 del 15 de mayo. De esta manera tenemos una serie temporal de medidas que permite comparar los resultados de cada participante. Al término del ejercicio, cada participante recibió la serie temporal del ATMOS12 y del estudio de la misma se desprende que durante la intercomparación se distinguen claramente dos exposiciones diferentes: baja y alta. La Figura 9 muestra la serie temporal del equipo de referencia empleado.

A modo de resumen, la Tabla 2 muestra los parámetros más significativos que se han tomado como referencia en el análisis de resultados. Dado que el equipo mide a intervalos de 10 minutos y puesto que algunos participantes midieron a intervalos de 60 minutos, se indican también los valores de referencia para este intervalo de medida empleando la media aritmética cada hora.



(a) Baja exposición



(b) Alta exposición

Figura 9: Concentración de radón medida por el equipo de referencia durante el ejercicio de intercomparación

Tabla 2: Resumen estadístico del equipo de referencia en las dos concentraciones consideradas. Los valores de los parámetros están expresados en Bq m^{-3} . a: intervalos de medida de 10 minutos; b: intervalos de medida de 60 minutos

Parámetro	Exp. 1(a)	Exp. 1 (b)	Exp. 2 (a)	Exp. (b)
Media	155	163	10380	9967
Mediana	90	82	6991	6321
Media geométrica	92	97	6975	6088
SD ^a	147	191	8469	8615
GSD ^b	3	3	3	4

^aDesviación estándar

^bDesviación Geométrica estándar

A la vista del resumen de la Tabla 2 y la Figura 2, es evidente la existencia de dos exposiciones. En primer lugar y durante la mayor parte de los días que duró el ejercicio, las concentraciones de radón prácticamente se mantuvieron por debajo de los 1000 Bq m^{-3} . Este intervalo lo denominaremos exposición 1 o baja exposición y se ha considerado que se extiende desde las 13:00 del 11 de mayo hasta las 11:00 del 14 de mayo. A partir de ese momento, se produce un incremento muy significativo de las concentraciones de radón dentro de la habitación y tiene lugar la exposición 2 o alta exposición. Esta exposición a efectos del análisis de resultados se extiende desde las 11:00 del 14 de mayo hasta las 15:00 del 15 de mayo.

4.4. Condiciones del ejercicio

Todos los participantes enviaron los equipos a las instalaciones del grupo radón en la Facultad de Medicina de la Universidad de Cantabria. Los equipos fueron probados por parte del personal del grupo para ver que funcionaban y no presentaban problemas. El transporte hasta el Laboratorio de Radiactividad natural en Saelices el Chico se llevó a cabo por personal del Grupo Radón salvo en algún caso particular que se realizó por parte del participante. El día de inicio del ejercicio, los equipos se encendieron varias horas antes del comienzo de la primera exposición. Durante la experiencia,

cada participante fue informado de las anomalías observadas, que esencialmente consistieron en fallos en la batería de algunos equipos. Esta es una de las razones por la que no todos los equipos han medido el mismo número de horas, lo que introduce una incertidumbre en el análisis de resultados. Al término de la intercomparación, cada participante emitió un informe propio con su análisis empleando los datos de la serie temporal del equipo de referencia.

5. Resultados y discusión

Incluimos en esta sección un análisis de datos que, sin pretender ser exhaustivo, intenta ofrecer un resumen de los resultados más interesantes que se obtuvieron en el ejercicio. Para realizar dicho análisis se ha empleado el paquete estadístico R [7] salvo la parte del estudio de los factores de calibración que se ha llevado a cabo con Microsoft Excel.

Para realizar el análisis de datos, tenemos que tener en cuenta que el objetivo del ejercicio era verificar la respuesta de los distintos equipos a los cambios bruscos de concentración. No obstante, hemos tenido también en cuenta el resultado de la exposición media obtenida por cada monitor aunque queremos remarcar que el objetivo no es el análisis de valores medios. Para mostrar el interés de esta cuestión, vamos a incluir también ejemplos de equipos que aún aportando valores medios que podríamos considerar aceptables, cuando se estudia el comportamiento del equipo dato a dato comparado con el equipo de referencia el comportamiento no es tan aceptable. Es por ello que el análisis de los resultados aparece dividido en dos subsecciones: el estudio de los valores medios y las varianzas y el estudio de los valores en continuo (correlaciones lineales y factores de corrección).

5.1. Análisis de valores medios y varianzas

5.1.1. Estadísticos descriptivos de cada participante

El análisis de los resultados se lleva a cabo empleando las series temporales de datos enviadas por cada participante. En primer lugar, se pueden distinguir dos grupos de equipos: aquellos que miden cada 10 minutos y los que dan resultados en intervalos de 60 minutos. No obstante lo anterior, tenemos algunos casos particulares de equipos que no encajan en ninguno de los dos grupos anteriores:

- Los equipos IFC15_18_02 y IFC15_25_01 disponen de datos cada 5 minutos. Se ha calculado la media aritmética a intervalos de 10 minutos y se incluyen en este grupo
- Equipos identificados como IFC15_08_04 e IFC15_19_02 cuyos intervalos de medida son 30 minutos. Se han incluido en el grupo de equipos de 60 minutos
- El equipo IFC15_10_02 midió a intervalos de 12 minutos. En este caso no se realizó tratamiento de los datos del equipo y se incluyó en el grupo de los participantes cuyos instrumentos midieron cada 10 minutos.
- El equipo IFC15_27 no disponía de la opción de toma de datos de forma automática. El personal del LaRUC se encargó de ir comprobando periódicamente dicho equipo y se puede concluir que funciona de manera similar al equipo de referencia.

A fin de poder tener una visión general de los resultados proporcionados por los participantes, las Tablas 3 y 4 nos ofrecen el resumen de los resultados proporcionados por cada participante.

Tabla 3: Resumen estadístico de los participantes en baja exposición. Los valores de los parámetros están expresados en Bq m^{-3} . SD = Desviación estándar; GSD: Desviación geométrica estándar; ϕ -valor ($\alpha = 0,05$)

LabID	Intervalo	Media	Mediana	Media geométrica	SD	GSD	ϕ -valor
IFC15_01	10 min	119	74	71	119	3	~ 0
IFC15_04	10 min	131	72	73	131	3	0.0348
IFC15_06	10 min	151	73	88	159	3	0.894
IFC15_07_02	10 min	82	52	52	77	3	~ 0
IFC15_09_01	10 min	181	93	93	251	3	0.0290
IFC15_09_02	10 min	215	88	97	396	4	0.0016
IFC15_09_03	10 min	185	90	96	261	3	0.01380
IFC15_10_01	10 min	154	86	92	151	3	0.6296
IFC15_10_02	10 min	171	77	89	193	3	0.2591
IFC15_11_01	10 min	156	112	104	130	3	0.6130
IFC15_12_01	10 min	165	79	93	176	3	0.1674
IFC15_12_02	10 min	150	88	92	141	3	0.9624
IFC15_12_03	10 min	147	86	89	140	3	0.2907
IFC15_15	10 min	184	94	100	246	3	0.0135

Continúa en la página siguiente

Tabla 3 – continúa de la página anterior

LabID	Intervalo	Media	Mediana	Media geométrica	SD	GSD	ρ -valor
IFC15.16.11	10 min	129	84	82	123	3	0.0131
IFC15.16.12	10 min	171	95	92	209	3	0.0935
IFC15.17	10 min	174	85	98	191	3	0.0386
IFC15.18.01	10 min	180	102	103	217	3	0.0185
IFC15.18.02	10 min	149	89	87	143	3	0.5325
IFC15.19.01	10 min	211	152	170	148	2	~ 0
IFC15.22	10 min	157	84	92	160	3	0.4772
IFC15.24	10 min	154	94	90	148	3	0.6126
IFC15.25.01	10 min	167	130	125	134	2	0.0652
IFC15.25.02	10 min	176	138	139	127	2	0.0048
IFC15.02	60 min	172	111	103	154	3	0.9730
IFC15.03	60 min	152	91	86	180	3	0.7048
IFC15.07.01	60 min	169	81	95	217	3	0.8819
IFC15.07.03	60 min	190	111	115	173	3	0.4978
IFC15.08.01	60 min	243	188	181	181	2	0.0112
IFC15.08.02	60 min	244	179	178	192	2	0.0123
IFC15.08.03	60 min	233	165	165	195	2	0.0327
IFC15.08.04	60 min	231	130	164	203	2	0.7924
IFC15.11.02	60 min	186	91	106	186	3	0.4684
IFC15.13	60 min	182	89	112	213	3	0.5758
IFC15.14	60 min	183	91	106	181	3	0.5355
IFC15.16.03	60 min	193	113	138	161	2	0.3264
IFC15.16.04	60 min	205	136	153	163	2	0.1638
IFC15.16.05	60 min	156	93	93	151	3	0.7895
IFC15.16.06	60 min	275	222	241	146	2	~ 0
IFC15.16.07	60 min	208	145	161	153	2	0.1239
IFC15.16.08	60 min	167	90	91	197	3	0.9249
IFC15.18.03	60 min	200	110	121	204	3	0.2662
IFC15.19.02	60 min	157	66	93	153	3	0.8451
IFC15.20	60 min	161	88	98	156	3	0.9425
IFC15.25.03	60 min	430	383	404	160	1	~ 0
IFC15.25.04	60 min	374	361	344	140	2	~ 0
IFC15.25.05	60 min	154	110	96	132	3	0.4419
IFC15.25.06	60 min	182	124	116	164	3	0.5350
IFC15.25.07	60 min	181	125	116	163	3	0.6785
IFC15.25.08	60 min	181	133	120	154	3	0.8686
IFC15.26	60 min	186	125	122	163	3	0.4940

Tabla 4: Resumen estadístico de los participantes en alta exposición. Los valores de los parámetros están expresados en Bq m⁻³. SD = Desviación estándar; GSD: Desviación geométrica estándar; ϕ -valor ($\alpha = 0,05$)

LabID	Intervalo	Media	Mediana	Media geométrica	SD	GSD	ϕ -valor
IFC15.01	10 min	9143	8260	6321	6741	3	0.1713
IFC15.04	10 min	3144	3280	2795	1287	2	~ 0
IFC15.06	10 min	10570	7968	6963	8146	3	0.780
IFC15.07.02	10 min	5676	4017	4100	4525	2	~ 0
IFC15.09.01	10 min	11230	7296	6961	8876	4	0.3393
IFC15.09.02	10 min	11280	7680	7365	8407	3	0.3010
IFC15.09.03	10 min	11140	7168	7131	8691	3	0.3819
IFC15.10.01	10 min	10480	7008	7119	8596	3	0.8575
IFC15.11.01	10 min	8696	6820	6460	6277	2	0.0480
IFC15.12.01	10 min	10900	8032	7350	8424	3	0.5278
IFC15.12.02	10 min	10860	7040	7732	8442	3	0.5538
IFC15.12.03	10 min	11070	8192	7544	8790	3	0.4244
IFC15.15	10 min	11070	7584	7222	8752	3	0.4222
IFC15.16.11	10 min	8616	5832	6339	6609	3	0.0404
IFC15.16.12	10 min	11660	8064	9022	8413	2	0.1527
IFC15.17	10 min	11460	8768	7522	8860	3	0.2256
IFC15.18.01	10 min	11020	7824	7104	8688	3	0.4562
IFC15.18.02	10 min	3971	4060	3550	1582	2	~ 0
IFC15.22	10 min	10760	8160	7398	8291	3	0.6282
IFC15.24	10 min	3888	3630	3491	1748	2	~ 0
IFC15.25.01	10 min	11480	8128	8198	8967	2	0.2217
IFC15.25.02	10 min	11440	7448	8053	8934	3	0.2369
IFC15.02	60 min	11480	7981	7853	9269	3	0.5198
IFC15.03	60 min	12510	8702	8847	10290	3	0.3256
IFC15.07.01	60 min	11090	8016	7984	8593	2	0.6219
IFC15.07.03	60 min	12400	7815	8481	10160	3	0.3262
IFC15.08.01	60 min	13890	9219	9583	11080	3	0.1327
IFC15.08.02	60 min	13900	8977	9702	10990	3	0.1295
IFC15.08.03	60 min	13430	8818	9232	10840	3	0.1786
IFC15.08.04	60 min			NA ²			
IFC15.11.02	60 min	11810	8188	8018	9753	3	0.4552
IFC15.13	60 min	11510	8832	8187	9014	3	0.5094
IFC15.14	60 min	13050	8475	8936	10530	3	0.2226
IFC15.16.03	60 min	11140	8094	7855	8935	3	0.6108
IFC15.16.04	60 min	11050	7986	7888	8749	3	0.6336
IFC15.16.05	60 min	9903	7164	7057	7829	3	0.0294
IFC15.16.06	60 min	10980	7061	7816	8614	3	0.6555

Continúa en la página siguiente

²Este equipo dispone de muy pocos datos en la exposición 2

Tabla 4 – continúa de la página anterior

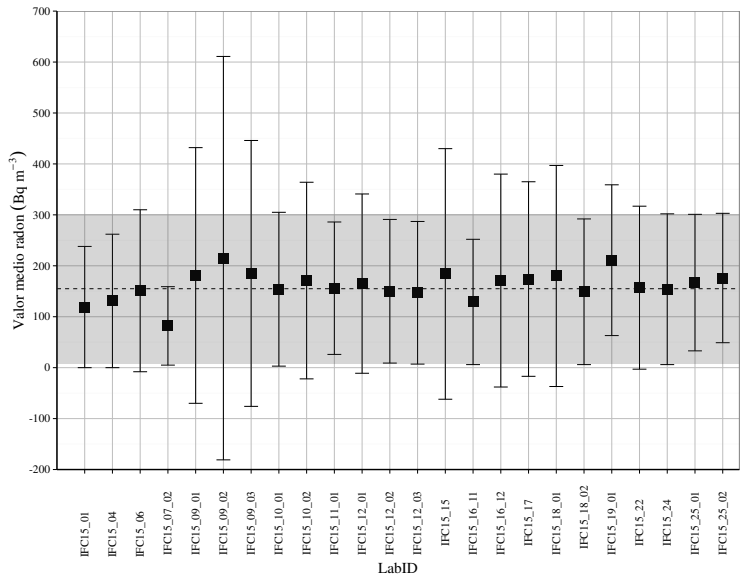
LabID	Intervalo	Media	Mediana	Media geométrica	SD	GSD	ρ -valor
IFC15.16.07	60 min	11490	7534	7861	9285	3	0.5159
IFC15.16.08	60 min	11260	7779	8188	8836	2	0.5828
IFC15.18.03	60 min	13240	8842	9524	10440	2	0.1932
IFC15.20	60 min	10580	7712	7063	8509	3	0.7835
IFC15.25.03	60 min	11700	7969	8281	9150	3	0.4589
IFC15.25.04	60 min	8095	5924	5766	6301	3	0.3450
IFC15.25.05	60 min	10840	7365	7376	8814	3	0.7024
IFC15.25.06	60 min	10850	7076	7470	8716	3	0.6998
IFC15.25.07	60 min	12160	8690	8397	9740	3	0.3641
IFC15.25.08	60 min	10870	6976	7380	8959	3	0.6944
IFC15.26	60 min	11630	7775	8052	9323	3	0.4802

Para poder tener una mejor imagen del resultado de los valores medios de las exposiciones comparados con los valores de exposición media del equipo de referencia, podemos prestar atención a las Figuras 10 y 11. Las Figuras representan los resultados en términos de valores medios de los equipos participantes mostrando por separado los equipos en función del tiempo de integración de las medidas. Se muestra también el valor medio aportado por el equipo que se empleó como referencia mostrando una zona sombreada que corresponde con el intervalo de una desviación estándar del equipo de referencia. En algunos casos, las grandes desviaciones observadas en ciertos equipos se deben a que dicho equipos saturaron la memoria y sólo pudieron medir el inicio del ascenso de la concentración de radón.

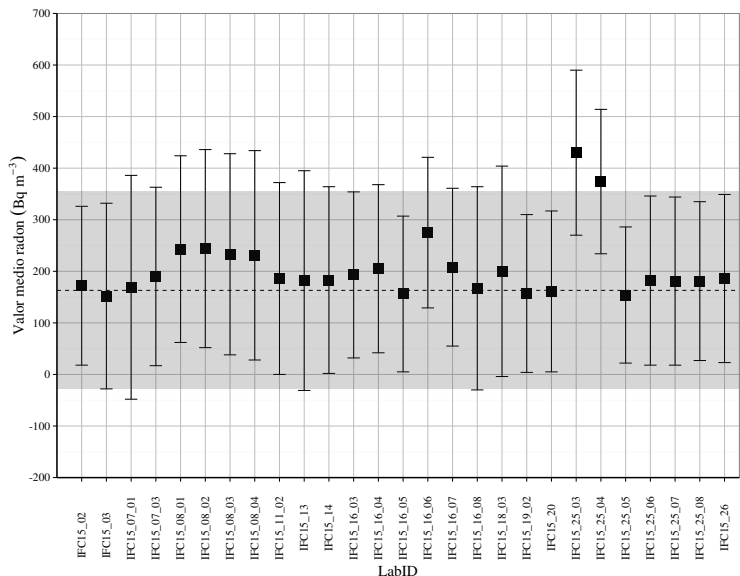
Podemos comparar los valores de las Tablas 3 y 4 con los correspondientes del equipo de referencia (Tabla 2). Dado que los parámetros media y media geométrica son bastante dependientes del tipo de distribución, se suele emplear para comparar la mediana pues es algo más robusto y no depende tanto del tipo de distribución de datos. Teniendo esto en cuenta, para las bajas exposiciones observamos que el equipo IFC15.07.02 presenta valores casi un 50 % por debajo de los del equipo de referencia, mientras que los equipos IFC15.19.01 y IFC15.25.01 e IFC15.25.02 muestran valores claramente por encima de la referencia. En el caso de aquellos equipos que miden a intervalos de 60 minutos, destacan algunos participantes cuyos valores están por encima de la referencia (IFC15.08.01, IFC15.08.02, IFC15.08.03 y IFC15.08.04 y IFC15.16.06), siendo el caso de dos instrumentos, el IFC15.25.03 e IFC15.25.04 cuya mediana de valores para la baja

exposición está muy por encima de los valores ofrecidos por el equipo de referencia.

Los resultados en el caso de la exposición 2 son más homogéneos en términos de la mediana de la serie de datos. No obstante, de nuevo el equipo IFC15_07_02 ofrece valores significativamente inferiores a la referencia. El equipo IFC15_24 además tiene resultados muy por debajo de los obtenidos por el ATMOS12.

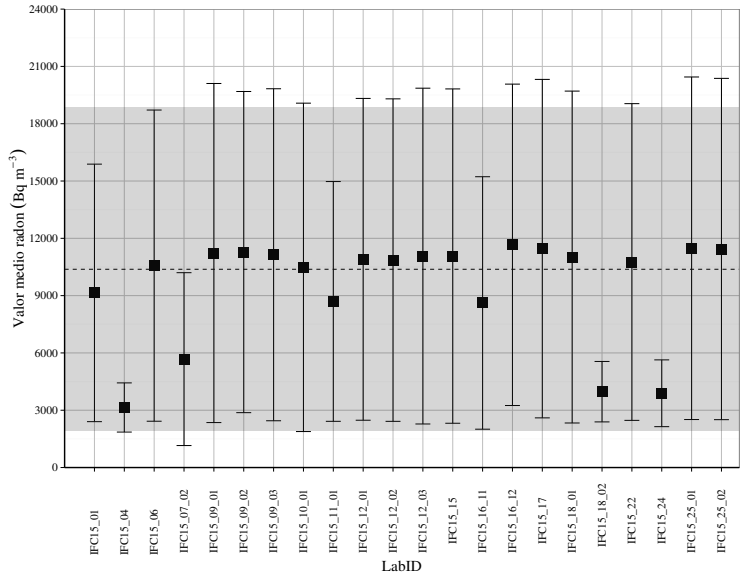


(a) Baja exposición, intervalos 10 minutos

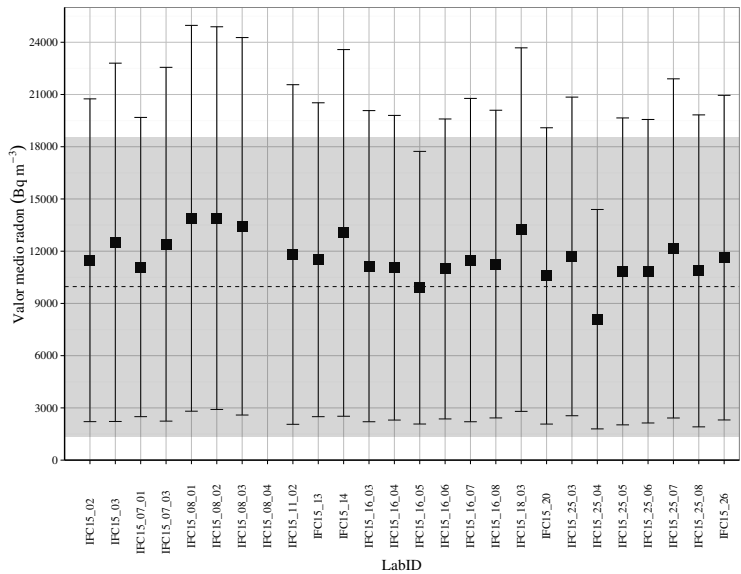


(b) Baja exposición, intervalos 60 minutos

Figura 10: Exposiciones medias de los participantes comparadas con el valor medio aportado por el equipo de referencia en baja exposición. La línea de trazos representa el valor medio del equipo de referencia y el área sombreada corresponde a la desviación estándar del equipo de referencia



(a) Alta exposición, intervalos 10 minutos



(b) Alta exposición, intervalos 60 minutos

Figura 11: Exposiciones medias de los participantes comparadas con el valor medio aportado por el equipo de referencia en alta exposición. La línea de trazos representa el valor medio del equipo de referencia y el área sombreada corresponde a la desviación estándar del equipo de referencia

5.1.2. Estudio de las varianzas de los equipos participantes

En este apartado mostramos el resultado del estudio de las varianzas de cada participante comparadas con el equipo de referencia. Se trata de una forma bastante común para poder comprobar la precisión de un instrumento de medida y compararlo con una referencia teniendo en cuenta que ambos han estado midiendo el mismo parámetro como es el caso que nos ocupa. Para poder llevar a cabo dicho análisis, se ha estudiado el tipo de distribución de datos de cada participante y se ha aplicado el test de hipótesis adecuado a cada tipo de distribución. Los resultados aparecen reflejados en las Tablas 5 y 6.

Para analizar los resultados tenemos en cuenta un nivel de confianza $\alpha = 0,05$. A la vista de los resultados, encontramos nuevamente que el equipo IFC15_07_02 tiene problemas en la baja exposición al igual que sucede con los equipos IFC15_08_01 a IFC15_08_04 que ya habíamos observado que presentaban valores cuya mediana era bastante superior a la que ofrece el equipo de nuestra referencia en bajas exposiciones. Bastantes equipos del grupo del intervalo de 60 minutos ofrecen dificultades para realizar el análisis de la varianza dado que sus distribuciones son diferentes a las de la referencia y difícilmente comparables. Esto puede ser debido a que ofrecen un tiempo de respuesta para la alta exposición con cierto retraso. Encontramos en el grupo de equipos de 10 minutos de nuevo los instrumentos identificados como IFC15_07_02 e IFC15_04 que ya habíamos visto que daban resultados inferiores a los valores que se toman como referencia.

Pero en general, del análisis de la varianza se desprende que la precisión de la mayoría de equipos es comparable al equipo considerado referente, tanto en el grupo de 10 minutos como en el de 60 minutos.

Tabla 5: Resultados de la comparación varianzas entre el equipo de referencia y cada participante en baja exposición. $\wp$ -valor ($\alpha = 0,05$)

LabID	Intervalo	$\wp$ -valor
IFC15_01	10 min	0,293
IFC15_04	10 min	0,283
IFC15_06	10 min	0.289
IFC15_07_02	10 min	0.028
IFC15_09_01	10 min	0.173

Continúa en la página siguiente

Tabla 5 – continúa de la página anterior

LabID	Intervalo	$\wp$ -valor
IFC15_09_02	10 min	0.044
IFC15_09_03	10 min	0.404
IFC15_10_01	10 min	0.424
IFC15_10_02	10 min	0.388
IFC15_11_01	10 min	0.062
IFC15_12_01	10 min	0.860
IFC15_12_02	10 min	0.153
IFC15_12_03	10 min	0.198
IFC15_15	10 min	0.956
IFC15_16_11	10 min	0.033
IFC15_16_12	10 min	0.226
IFC15_17	10 min	0.850
IFC15_18_01	10 min	0.4078
IFC15_18_02	10 min	0.9216
IFC15_19_01	10 min	~ 0
IFC15_22	10 min	0.640
IFC15_24	10 min	0.878
IFC15_25_01	10 min	~ 0
IFC15_25_02	10 min	~ 0
IFC15_02	60 min	0.425
IFC15_03	60 min	0.472
IFC15_07_01	60 min	0.614
IFC15_07_03	60 min	0.492
IFC15_08_01	60 min	0.035
IFC15_08_02	60 min	0.095
IFC15_08_03	60 min	0.138
IFC15_08_04	60 min	0.038
IFC15_11_02	60 min	0.255
IFC15_13	60 min	0.660
IFC15_14	60 min	0.433
IFC15_16_03	60 min	0.041
IFC15_16_04	60 min	0.003
IFC15_16_05	60 min	0.636
IFC15_16_06	60 min	~ 0

Continúa en la página siguiente

Tabla 5 – continúa de la página anterior

LabID	Intervalo	φ -valor
IFC15_16_07	60 min	~ 0
IFC15_16_08	60 min	0.252
IFC15_18_03	60 min	0.6809
IFC15_19_02	60 min	0.402
IFC15_20	60 min	0.667
IFC15_25_03	60 min	~ 0
IFC15_25_04	60 min	~ 0
IFC15_25_05	60 min	0.584
IFC15_25_06	60 min	0.792
IFC15_25_07	60 min	0.551
IFC15_25_08	60 min	0.721
IFC15_26	60 min	0.768

Tabla 6: Resultados de la comparación varianzas entre el equipo de referencia y cada participante en alta exposición. φ -valor ($\alpha = 0,05$)

LabID	Intervalo	φ -valor
IFC15_01	10 min	0,261
IFC15_04	10 min	~ 0
IFC15_06	10 min	0.141
IFC15_07_02	10 min	0.013
IFC15_09_01	10 min	0.0227
IFC15_09_02	10 min	0.0184
IFC15_09_03	10 min	0.0572
IFC15_10_01	10 min	0.599
IFC15_11_01	10 min	0.011
IFC15_12_01	10 min	0.1028
IFC15_12_02	10 min	0.106
IFC15_12_03	10 min	0.539
IFC15_15	10 min	0.3199
IFC15_16_11	10 min	0.005
IFC15_16_12	10 min	~ 0

Continúa en la página siguiente

Tabla 6 – continúa de la página anterior

LabID	Intervalo	φ -valor
IFC15_17	10 min	0.2619
IFC15_18_01	10 min	0.9716
IFC15_18_02	10 min	~ 0
IFC15_22	10 min	0.5063
IFC15_24	10 min	~ 0
IFC15_25_01	10 min	0.067
IFC15_25_02	10 min	0.188
IFC15_02	60 min	0.718
IFC15_03	60 min	0.714
IFC15_07_01	60 min	0.626
IFC15_07_03	60 min	0.724
IFC15_08_01	60 min	0.648
IFC15_08_02	60 min	0.565
IFC15_08_03	60 min	0.608
IFC15_08_04	60 min	NA ³
IFC15_11_02	60 min	0.733
IFC15_13	60 min	0.587
IFC15_14	60 min	0.631
IFC15_16_03	60 min	0.516
IFC15_16_04	60 min	0.493
IFC15_16_05	60 min	0.472
IFC15_16_06	60 min	0.559
IFC15_16_07	60 min	0.644
IFC15_16_08	60 min	0.482
IFC15_18_03	60 min	0.5040
IFC15_20	60 min	0.721
IFC15_25_03	60 min	0.524
IFC15_25_04	60 min	0.328
IFC15_25_05	60 min	0.764
IFC15_25_06	60 min	0.628
IFC15_25_07	60 min	0.622
IFC15_25_08	60 min	0.665
IFC15_26	60 min	0.578

³Este equipo dispone de muy pocos datos en la exposición 2

5.1.3. Gráficos estadísticos h -Mandel y de Youden

Finalmente se ha llevado a cabo un análisis de las concentraciones medias que cada equipo ha medido y se ha comparado con las ofrecidas por el instrumento de referencia. En primer lugar, realizamos un estudio de los resultados entre los diferentes laboratorios mediante el estadístico h de Mandel [8, 9]. La Figura 12 representa este estadístico calculado para cada participante en las dos exposiciones. Si tenemos n participantes en un ejercicio de intercomparación y cada participante ofrece un resultado X_i del parámetro que se pretende intercomparar, entonces $\bar{X}$ es el valor medio de todos los resultados. De esta forma se calcula el estadístico h de Mandel para cada laboratorio como:

$$h_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}, i = 1 \dots n \quad (1)$$

En la ecuación (1) S es:

$$S^2 = \frac{Q}{n - 1}, \quad (2)$$

y

$$Q = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (3)$$

Este estadístico es un índice que nos permite una evaluación entre laboratorios. Podemos ver en el mismo gráfico la desviación estandarizada de un laboratorio concreto y compararla con la media del resto de participantes para cada exposición. Del mismo modo podemos definir niveles críticos de confianza. La Figura 12 representa los datos agrupados por instrumento participante y la desviación de cada uno de ellos en las dos exposiciones. La mayoría de instrumentos ofrecen resultados dentro del intervalo del 1 % de nivel de confianza (línea discontinua), mientras que en los casos en los que esto no es así, sucede para la alta exposición, excepto en un caso (IFC15_25_03) que ocurre en baja concentración. Las variaciones de algunos equipos son debidas a fenómenos de saturación de la memoria de datos de los equipos.

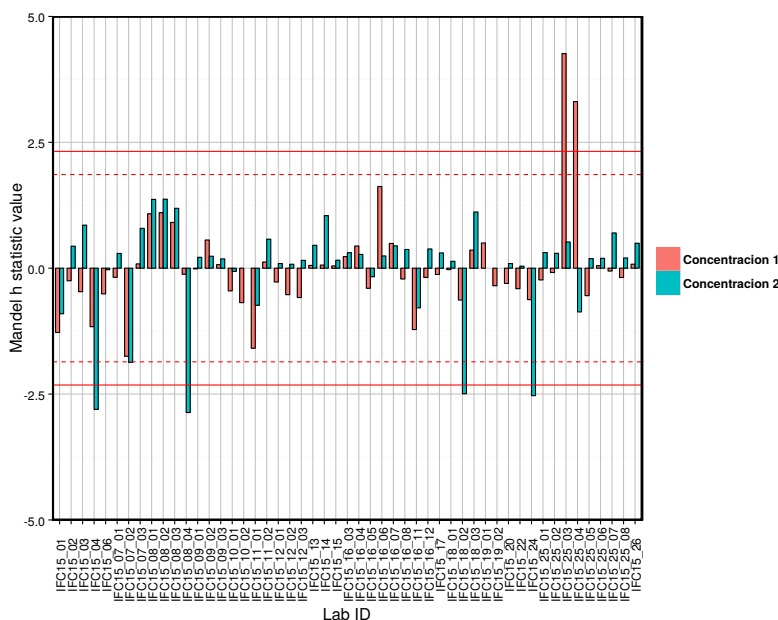


Figura 12: Representación del estadístico h de Mandel en cada equipo

Para finalizar esta sección empleamos la herramienta gráfica denominada gráfico de Youden [10, 8]. En este tipo de gráfico se representan los pares de valores de cada participante para cada exposición. El gráfico se divide en cuatro sectores siendo el círculo centrado en el punto (0,0) una representación al 95 % de confianza al rededor de ese punto. En caso de errores aleatorios, aparecerá una nube de puntos distribuida en torno al (0,0). Los sectores superior derecho e inferior izquierdo indican laboratorios con errores sistemáticos superiores o inferiores al resto.

La Figura 13 representa el gráfico de Youden de los equipos participantes en el ejercicio. Observamos como las mayores desviaciones suceden para la exposición 2. No obstante, si ampliamos dicho gráfico (Figura 14) apreciamos como algunos laboratorios tienen errores sistemáticos por exceso en la exposición baja.

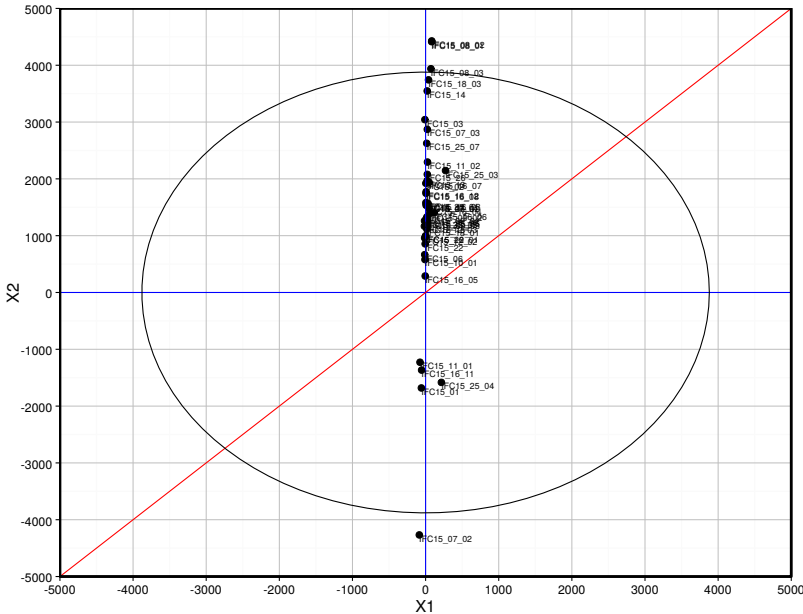


Figura 13: Gráfico de Youden para comparar los participantes con las concentraciones de referencia.

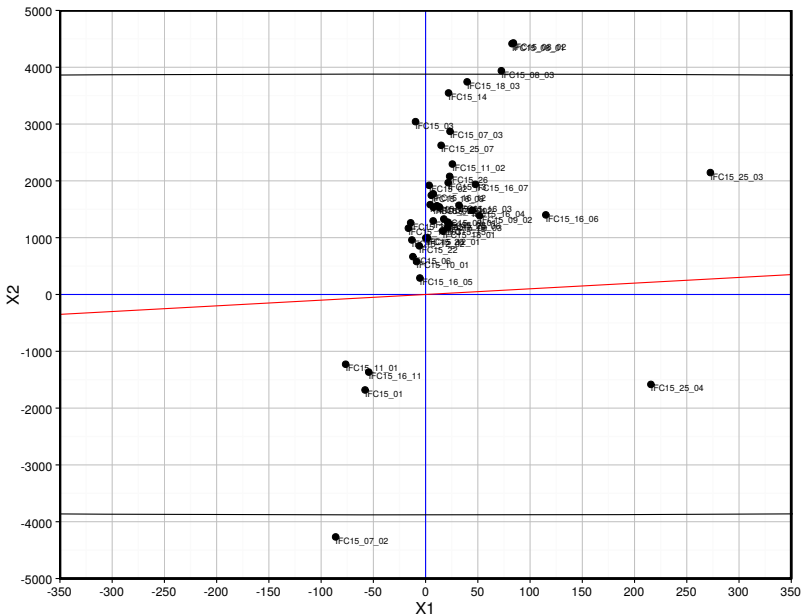


Figura 14: Ampliación del gráfico de la Figura 13 para bajas concentraciones.

5.2. Correlaciones lineales y factores de corrección

5.2.1. Correlaciones entre el equipo de referencia y cada participante

Un cierto número de participantes incluyeron en su análisis individual el estudio de las correlaciones lineales entre sus equipos y el proporcionado por los organizadores. De este modo se incluye en este apartado el resumen que aparece en la Tabla 7 del estudio de la correlación lineal entre cada participante y la referencia.

Se han estudiado las correlaciones lineales entre cada equipo participante y el equipo de referencia. Para ello se ha tenido en cuenta que muchos participantes, debido a que los relojes internos de cada equipo no estaban sincronizados, en el intervalo de exposición considerado proporcionan un número de datos distinto al del equipo de referencia. Este aspecto se ha ajustado en los casos que corresponde. De manera que cada correlación lineal toma como variable independiente los datos del equipo de referencia y como variable

dependiente el monitor que se intercompara. De este modo, buscamos una relación lineal en la forma de la ecuación 4

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (4)$$

Ecuación en la que la situación ideal se corresponde con $\beta_0 = 0$ y $\beta_1 = 1$. Del mismo modo, hemos calculado los errores de ambos parámetros y también el $\wp$ -valor que nos indica la significación estadística.

En primer lugar, si tenemos en cuenta que valores del coeficiente de correlación lineal superiores a 0.5 pueden ser aceptables, tan sólo cuatro equipos (IFC15_09.02, IFC15_10.02, IFC15_25.04 e IFC15_25.05) tienen valores inferiores a 0.5. En todos los casos corresponden a resultados de equipos en baja exposición, salvo en el caso del equipo IFC15_09.02 que ocurre en las dos exposiciones. El estudio de la ordenada en el origen puede indicarnos errores sistemáticos respecto al equipo de referencia. Observamos en este caso que la mayoría de los equipos en los que la ordenada en el origen se puede considerar 0 corresponden al grupo de 60 minutos y en la mayor parte de los casos en la alta exposición. El estudio de la pendiente, revela que en todos los equipos el análisis lineal indica que es diferente de 0.

Tabla 7: Resultados del estudio de las correlaciones entre cada participante y el equipo de referencia. β_0 : ordenada en el origen con su incertidumbre entre paréntesis; β_1 : pendiente con su incertidumbre entre paréntesis; $\wp$ -valor ($\alpha = 0,05$)

LabID	Intervalo	Exposición	β_0 ; $\wp$ -valor	β_1 ; $\wp$ -valor	R^2
IFC15.01	10 min	baja	27.85 (6.08); ~ 0	0.60 (0.03); ~ 0	0.52
IFC15.01	10 min	alta	1800 (459); ~ 0	0.66 (0.03); ~ 0	0.74
IFC15.02	60 min	baja	64.20 (15.82); ~ 0	0.61 (0.06); ~ 0	0.58
IFC15.02	60 min	alta	3638.04 (1846.80); 0.06	0.79 (0.14); ~ 0	0.53
IFC15.03	60 min	baja	28.13 (17.32); 0.11	0.75 (0.07); ~ 0	0.63
IFC15.03	60 min	alta	28.7 (1060); 0.98	1.14 (0.07); ~ 0	0.90
IFC15.04	10 min	baja	8.45 (3.96); 0.034	0.78 (0.02); ~ 0	0.84
IFC15.04	10 min	alta	-669.86 (115.83); ~ 0	0.98 (0.03); ~ 0	0.95
IFC15.06	10 min	baja	2.01 (4.35); 0.645	0.99 (0.02); ~ 0	0.85
IFC15.06	10 min	alta	837.32 (136.08); ~ 0	0.95 (0.01); ~ 0	0.98
IFC15.07.01	60 min	baja	-15.22 (5.01); ~ 0	1.12 (0.02); ~ 0	0.98
IFC15.07.01	60 min	alta	882.32 (450.56); 0.061	0.99 (0.03); ~ 0	0.97
IFC15.07.02	10 min	baja	8.38 (2.59); ~ 0	0.47 (0.01); ~ 0	0.77
IFC15.07.02	10 min	alta	409.17 (160.43); 0.915	0.51 (0.01); ~ 0	0.92
IFC15.07.03	60 min	baja	67.87 (17.03); ~ 0	0.71 (0.07); ~ 0	0.61

Continúa en la página siguiente

Tabla 7 – continúa de la página anterior

LabID	Intervalo	Exposición	β_0 ; $\wp$ -valor	β_1 ; $\wp$ -valor	R^2
IFC15.07.03	60 min	alta	3712.47 (1999.96); 0.074	0.87 (0.15); ~ 0	0.55
IFC15.08.01	60 min	baja	124.84 (18.42); ~ 0	0.72 (0.07); ~ 0	0.58
IFC15.08.01	60 min	alta	4316.40 (2153.59); 0.055	0.96 (0.16); ~ 0	0.56
IFC15.08.02	60 min	baja	115.58 (18.81); ~ 0	0.79 (0.08); ~ 0	0.61
IFC15.08.02	60 min	alta	4184.26 (2073.05); 0.570	0.97 (0.16); ~ 0	0.58
IFC15.08.03	60 min	baja	100.88 (18.81); ~ 0	0.81 (0.08); ~ 0	0.63
IFC15.08.03	60 min	alta	3946.11 (2071.57); 0.068	0.95 (0.16); ~ 0	0.57
IFC15.08.04	60 min	baja	41.25 (20.90); 0.053	0.80 (0.08); ~ 0	0.57
IFC15.08.04	60 min	alta	-575.01 (396.09); 0.206	0.99 (0.12); ~ 0	0.93
IFC15.09.01	10 min	baja	-29.75 (9.88); ~ 0	1.41 (0.05); ~ 0	0.68
IFC15.09.01	10 min	alta	1896 (606.3); ~ 0	0.88 (0.04); ~ 0	0.70
IFC15.09.02	10 min	baja	-61.85 (20.10); ~ 0	1.85 (0.10); ~ 0	0.47
IFC15.09.02	10 min	alta	4710 (876.5); ~ 0	0.60 (0.06); ~ 0	0.36
IFC15.09.03	10 min	baja	-28.70 (10.78); ~ 0	1.43 (0.05); ~ 0	0.65
IFC15.09.03	10 min	alta	2197 (636.2); ~ 0	0.84 (0.04); ~ 0	0.67
IFC15.10.01	10 min	baja	12.97 (4.17); ~ 0	0.95 (0.02); ~ 0	0.84
IFC15.10.01	10 min	alta	497.05 (310.87); 0.112	0.97 (0.02); ~ 0	0.91
IFC15.10.02	10 min	baja	86.09 (18.83); ~ 0	0.55 (0.09); ~ 0	0.18
IFC15.11.01	10 min	baja	29.32 (7.54); ~ 0	0.70 (0.03); ~ 0	0.76
IFC15.11.01	10 min	alta	1078 (253.7); ~ 0	0.71 (0.02); ~ 0	0.90
IFC15.11.02	60 min	baja	68.24 (19.62); ~ 0	0.72 (0.08); ~ 0	0.55
IFC15.11.02	60 min	alta	1783.61 (1972.43); 0.329	0.94 (0.13); ~ 0	0.67
IFC15.12.01	10 min	baja	-3.32 (4.21); 0.43	1.13 (0.02); ~ 0	0.88
IFC15.12.01	10 min	alta	779.5 (111.3); ~ 0	0.99 (0.008); ~ 0	0.99
IFC15.12.02	10 min	baja	27.03 (5.11); ~ 0	0.82 (0.02); ~ 0	0.73
IFC15.12.02	10 min	alta	2174 (536.6); ~ 0	0.85 (0.04); ~ 0	0.73
IFC15.12.03	10 min	baja	26.80 (5.34); ~ 0	0.80 (0.03); ~ 0	0.70
IFC15.12.03	10 min	alta	3097 (708.2); ~ 0	0.78 (0.05); ~ 0	0.56
IFC15.13	60 min	baja	1.36 (3.48); 0.696	1.11 (0.01); ~ 0	0.99
IFC15.13	60 min	alta	727.06 (349.77); 0.05	1.04 (0.03); ~ 0	0.98
IFC15.14	60 min	baja	53.58 (15.81); 0.696	0.79 (0.06); ~ 0	0.69
IFC15.14	60 min	alta	4182.14 (2109.10); 0.058	0.89 (0.16); ~ 0	0.53
IFC15.15	10 min	baja	-24.15 (9.49); 0.011	1.39 (0.05); ~ 0	0.69
IFC15.15	10 min	alta	1791.40 (575.09); ~ 0	0.88 (0.04); ~ 0	0.73
IFC15.16.03	60 min	baja	73.31 (12.98); ~ 0	0.72 (0.05); ~ 0	0.74
IFC15.16.03	60 min	alta	2111 (1271); 0.108	0.91 (0.09); ~ 0	0.76
IFC15.16.04	60 min	baja	78.74 (11.44); ~ 0	0.76 (0.05); ~ 0	0.81
IFC15.16.04	60 min	alta	2270 (1270); 0.085	0.88 (0.09); ~ 0	0.75
IFC15.16.05	60 min	baja	39.34 (10.85); ~ 0	0.70 (0.04); ~ 0	0.80
IFC15.16.05	60 min	alta	2029 (1130); 0.084	0.79 (0.08); ~ 0	0.75
IFC15.16.06	60 min	baja	171.41 (12.98); ~ 0	0.63 (0.05); ~ 0	0.68
IFC15.16.06	60 min	alta	3340.97 (1167.13); 0.049	0.77 (0.12); ~ 0	0.59

Continúa en la página siguiente

Tabla 7 – continúa de la página anterior

LabID	Intervalo	Exposición	β_0 ; $\wp$ -valor	β_1 ; $\wp$ -valor	R^2
IFC15.16.07	60 min	baja	103.60 (14.59); ~ 0	0.64 (0.06); ~ 0	0.64
IFC15.16.07	60 min	alta	3338.56 (1764.70); 0.069	0.82 (0.13); ~ 0	0.58
IFC15.16.08	60 min	baja	0.06 (4.84); 0.99	1.02 (0.02); ~ 0	0.98
IFC15.16.08	60 min	alta	-18.54 (102.76); 0.858	1.03 (0.01); ~ 0	0.99
IFC15.16.11	10 min	baja	13.57 (3.67); ~ 0	0.85 (0.02); ~ 0	0.84
IFC15.16.11	10 min	alta	863.95 (233.98); ~ 0	0.75 (0.02); ~ 0	0.92
IFC15.16.12	10 min	baja	-17.12 (6.82); 0.012	1.25 (0.03); ~ 0	0.78
IFC15.16.12	10 min	alta	1081 (232.4); ~ 0	0.98 (0.01); ~ 0	0.96
IFC15.17	10 min	baja	-9.55 (4.44); 0.032	1.22 (0.02); ~ 0	0.89
IFC15.17	10 min	alta	816.1 (118.8); ~ 0	1.04 (0.009); ~ 0	0.99
IFC15.18.01	10 min	baja	-11.85 (7.47); 0.113	1.28 (0.04); ~ 0	0.75
IFC15.18.01	10 min	alta	1377 (476); ~ 0	0.92 (0.04); ~ 0	0.81
IFC15.18.02	10 min	baja	8.08 (3.6); 0.0251	0.91 (0.02); ~ 0	0.87
IFC15.18.02	10 min	alta	-202.40 (98.71); 0.0439	0.97 (0.02); ~ 0	0.97
IFC15.18.03	60 min	baja	34.52 (10.31); ~ 0	1.01 (0.04); ~ 0	0.90
IFC15.18.03	60 min	alta	1877 (1032); 0.08	1.14 (0.08); ~ 0	0.89
IFC15.19.01	10 min	baja	80.91 (5.95); ~ 0	0.96 (0.03); ~ 0	0.78
IFC15.20	60 min	baja	40.89 (10.64); ~ 0	0.74 (0.04); ~ 0	0.81
IFC15.20	60 min	alta	1838 (1141); 0.119	0.88 (0.09); ~ 0	0.79
IFC15.22	10 min	baja	2.98 (3.7); 0.421	1.03 (0.02); ~ 0	0.89
IFC15.22	10 min	alta	1089 (257); ~ 0	0.94 (0.02); ~ 0	0.94
IFC15.24	10 min	baja	4.84 (4.31); 0.262	0.94 (0.02); ~ 0	0.83
IFC15.24	10 min	alta	257.39 (65.46); ~ 0	0.62 (0.01); ~ 0	0.97
IFC15.25.01	10 min	baja	60.62 (6.03); ~ 0	0.72 (0.03); ~ 0	0.59
IFC15.25.01	10 min	alta	1461 (433); ~ 0	0.97 (0.03); ~ 0	0.84
IFC15.25.02	10 min	baja	78.12 (5.94); ~ 0	0.66 (0.03); ~ 0	0.56
IFC15.25.02	10 min	alta	1487 (438); ~ 0	0.96 (0.03); ~ 0	0.84
IFC15.25.03	60 min	baja	323.35 (15.91); ~ 0	0.65 (0.06); ~ 0	0.60
IFC15.25.03	60 min	alta	3609 (1724); 0.05	0.81 (0.13); ~ 0	0.58
IFC15.25.04	60 min	baja	314.91 (19.28); ~ 0	0.36 (0.08); ~ 0	0.24
IFC15.25.04	60 min	alta	2922 (1297); ~ 0	0.54 (0.05); ~ 0	0.50
IFC15.25.05	60 min	baja	58.76 (13.18); ~ 0	0.36 (0.08); ~ 0	0.23
IFC15.25.05	60 min	alta	3339.6 (1743.9); 0.066	0.75 (0.13); ~ 0	0.54
IFC15.25.06	60 min	baja	71.19 (15.89); ~ 0	0.68 (0.06); ~ 0	0.62
IFC15.25.06	60 min	alta	3072.5 (1619.10); 0.069	0.78 (0.12); ~ 0	0.59
IFC15.25.07	60 min	baja	64.70 (15.68); ~ 0	0.68 (0.06); ~ 0	0.63
IFC15.25.07	60 min	alta	3632.4 (1860.3); 0.061	0.86 (0.14); ~ 0	0.56
IFC15.25.08	60 min	baja	67.45 (15.96); ~ 0	0.62 (0.06); ~ 0	0.58
IFC15.25.08	60 min	alta	3048.9 (1716.1); 0.087	0.79 (0.13); ~ 0	0.57
IFC15.26	60 min	baja	71.76 (15.31); ~ 0	0.69 (0.06); ~ 0	0.65
IFC15.26	60 min	alta	3485.1 (1784.8); 0.061	0.82 (0.14); ~ 0	0.57

5.2.2. Factores de corrección

Utilizando los valores proporcionados por cada participante se ha llevado a cabo un estudio de los factores de corrección de cada equipo comparando sus datos con aquellos proporcionados por el ATMOS 12. Se trata de un análisis que tiene en cuenta las desviaciones cuadráticas medias y que mediante un cálculo reiterativo basado en mínimos cuadrados proporciona el factor con el que mejor se ajustan ambas series de datos. Los resultados aparecen reflejados en la Tabla 8. Hemos de tener en cuenta que el resultado de este tipo de análisis por si solo no indica que el equipo no tenga problemas en caso de que el factor de corrección esté cercano a la unidad. Los factores calculados según se ha explicado constituyen una condición necesaria pero no suficiente para garantizar que el equipo mide de forma similar al equipo de referencia frente al que se compara.

Un primer análisis de la Tabla 8 indica que hay dos equipos, IFC15_08_04 e IFC15_19_02 cuyos factores calibración para la exposición 2 son tremendamente elevados (36 y 23 respectivamente). Del resto de equipos y si consideramos como aceptable factores que están en el intervalo $[0.7, 1.3]$, aparecen 13 equipos cuyos resultados quedan fuera del citado intervalo de aceptabilidad. De estos 13 equipos, ocho tienen factores de corrección por debajo de 0.7 para la exposición 1 y cinco para la exposición 2.

Tabla 8: Resumen de los factores de calibración de los equipos usados por los participantes durante el ejercicio en las dos exposiciones

Equipo	Intervalo	Exposición	Factor
IFC15_01	10 min	baja	1.06876
IFC15_01	10 min	alta	1.07637
IFC15_04	10 min	baja	1.13688
IFC15_04	10 min	alta	1.19590
IFC15_06	10 min	baja	0.91623
IFC15_06	10 min	alta	0.99351
IFC15_09_01	10 min	baja	0.60131
IFC15_09_01	10 min	alta	0.88601
IFC15_09_02	10 min	baja	0.35449

Continúa en la página siguiente

Tabla 8 – continúa de la página anterior

Equipo	Intervalo	Exposición	Factor
IFC15_09.02	10 min	alta	0.83453
IFC15_09.03	10 min	baja	0.57145
IFC15_09.03	10 min	alta	0.89232
IFC15_10.01	10 min	baja	0.93005
IFC15_10.01	10 min	alta	0.96736
IFC15_12.01	10 min	baja	0.84123
IFC15_12.01	10 min	alta	0.96395
IFC15_12.02	10 min	baja	0.94602
IFC15_12.02	10 min	alta	0.91251
IFC15_12.03	10 min	baja	0.95249
IFC15_12.03	10 min	alta	0.86394
IFC15_15	10 min	baja	0.61086
IFC15_15	10 min	alta	0.90060
IFC15_17	10 min	baja	0.78588
IFC15_17	10 min	alta	0.91651
IFC15_18.01	10 min	baja	0.68859
IFC15_18.01	10 min	alta	0.91995
IFC15_18.02	10 min	baja	1.00069
IFC15_18.02	10 min	alta	1.07292
IFC15_02	60 min	baja	0.99797
IFC15_02	60 min	alta	0.78755
IFC15_03	60 min	baja	1.00082
IFC15_03	60 min	alta	0.83520
IFC15_07.01	60 min	baja	0.96316
IFC15_07.01	60 min	alta	0.94406
IFC15_07.03	60 min	baja	0.90391
IFC15_07.03	60 min	alta	0.72627
IFC15_08.01	60 min	baja	0.74022
IFC15_08.01	60 min	alta	0.65954
IFC15_08.02	60 min	baja	0.73709
IFC15_08.02	60 min	alta	0.66655
IFC15_08.03	60 min	baja	0.75558
IFC15_08.03	60 min	alta	0.68103
IFC15_08.04	60 min	baja	0.37071

Continúa en la página siguiente

Tabla 8 – continúa de la página anterior

Equipo	Intervalo	Exposición	Factor
IFC15_08.04	60 min	alta	36.10585
IFC15_11.02	60 min	baja	0.84583
IFC15_11.02	60 min	alta	0.81435
IFC15_13	60 min	baja	0.94490
IFC15_13	60 min	alta	0.90875
IFC15_14	60 min	baja	0.91654
IFC15_14	60 min	alta	0.69166
IFC15_16.06	60 min	baja	0.72380
IFC15_16.06	60 min	alta	0.84658
IFC15_16.07	60 min	baja	0.88320
IFC15_16.07	60 min	alta	0.79558
IFC15_16.08	60 min	baja	1.02281
IFC15_16.08	60 min	alta	0.96882
IFC15_18.03	60 min	baja	0.85095
IFC15_18.03	60 min	alta	0.76190
IFC15_19.02	60 min	baja	0.41545
IFC15_19.02	60 min	alta	22.87273
IFC15_20	60 min	baja	1.09568
IFC15_20	60 min	alta	0.91302
IFC15_25.03	60 min	baja	0.45931
IFC15_25.03	60 min	alta	0.79491
IFC15_25.04	60 min	baja	0.47700
IFC15_25.04	60 min	alta	1.12993
IFC15_25.05	60 min	baja	1.15091
IFC15_25.05	60 min	alta	0.83279
IFC15_25.06	60 min	baja	0.93475
IFC15_25.06	60 min	alta	0.85058
IFC15_25.07	60 min	baja	0.95801
IFC15_25.07	60 min	alta	0.75425
IFC15_25.08	60 min	baja	0.98142
IFC15_25.08	60 min	alta	0.83303
IFC15_26	60 min	baja	0.94116
IFC15_26	60 min	alta	0.78855

5.3. Estudio de casos particulares

5.3.1. Factor de corrección y valores medios

En la subsección 5.1.1 realizamos un estudio de los estadísticos descriptivos de cada uno de los equipos participantes en el que incluimos el resultado del test estadístico en forma de p -valor para comparar los valores medios de cada monitor con el de referencia. Más adelante, en la subsección 5.2.2 realizamos un cálculo del factor de corrección de cada equipo comparándole con el de referencia. De este modo, podemos estudiar los datos de estos dos análisis para comparar valores medios con el comportamiento del equipo en cada intervalo comparado con el equipo que se ha elegido de referencia en los mismos intervalos.

Si tenemos en cuenta que un factor de corrección inferior a 0.7 es considerado no aceptable de una forma muy generosa, resulta que tenemos la situación siguiente:

- Intervalos de medida de 10 minutos

Los equipos IFC15_09_01, IFC15_09_02, IFC15_09_03, IFC15_15 e IFC15_18_01 presentan factores de corrección inferiores a 0.7 en la baja exposición.

- Intervalos de medida de 60 minutos

En los equipos que midieron cada 60 minutos, observamos que los equipos IFC15_08_04 y IFC15_19_02 tienen factores de corrección no aceptables tanto en baja como en alta exposición (en este caso son factores anormalmente elevados). Los equipos IFC15_08_01, IFC15_08_02, IFC15_08_03 e IFC15_14, no serían aceptables en cuanto al factor de corrección para la alta exposición. IFC15_25_03 y IFC15_25_04 se consideran no aceptables desde el punto de vista de los factores de corrección para la baja exposición.

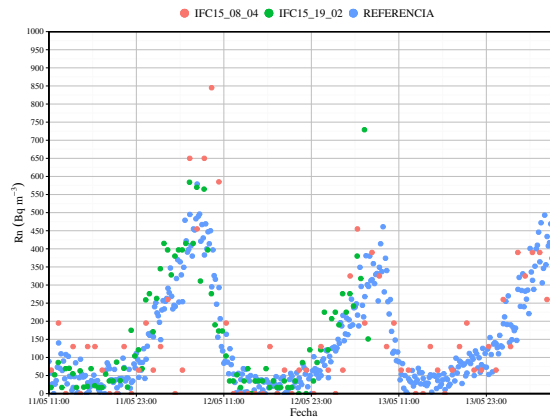


Figura 15: Dos ejemplos de equipos con valores medios de concentración aceptables pero no así sus factores de corrección en intervalos de integración de 60 minutos

Si tenemos en cuenta los resultados de la Tablas 3 y 4, encontramos seis casos en los que el factor de corrección no es aceptable pero el valor medio si que es estadísticamente similar al de referencia. Esta situación se da en cuatro ocasiones en la alta exposición y en dos en la baja, en todos los casos en equipos con tiempos de integración de 60 min. Por ejemplo, en el caso del equipo IFC15_08_04, el equipo ofrece resultados superiores al de referencia (Figura 15). La misma Figura indica que el equipo IFC15_19_02 estuvo funcionando durante menos tiempo razón por la cual se explica su anómalo factor de corrección.

5.3.2. Correlaciones lineales

Teniendo en cuenta los resultados del estudio de las correlaciones lineales entre cada monitor participante y el equipo de referencia, podemos prestar atención a aquellos casos que presentan el mejor comportamiento lineal y el peor.

Tabla 9: Ejemplos de equipos que presentan el mejor y peor comportamiento lineal frente al equipo de referencia

Buen comportamiento lineal		
Equipo	Intervalo	Exposición
IFC15_22	10 min	baja
IFC15_17	10 min	alta
IFC15_13	60 min	baja
IFC15_13	60 min	alta
Mal comportamiento lineal		
Equipo	Intervalo	Exposición
IFC15_10_02	10 min	baja
IFC15_09_02	10 min	alta
IFC15_25_04	60 min	baja
IFC15_25_05	60 min	baja
IFC15_25_04	60 min	alta

La Tabla 9 nos muestra los casos más extremos en referencia a la linealidad. En el caso de los equipos que midieron cada 10 minutos, el peor comportamiento se observa en aquellos casos en los que los equipos presentan una pendiente muy baja como cabría esperar pero que también arrojan un resultado de la ordenada en el origen elevado lo que podría apuntar a errores sistemáticos de medida de dichos equipos. Situación semejante a la observada en monitores con intervalos de medida de 60 minutos. En este grupo, el equipo IFC15_25_04 presenta el peor comportamiento tanto a bajas como a altas exposiciones.

6. Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Empresa Nacional del Uranio S.A. (ENUSA) por su interés a lo largo de muchos años por la radiactividad natural y las actividades del Grupo Radón en particular. Merece especial reconocimiento la labor de su personal en las instalaciones de Saelices el Chico.

El laboratorio de radiación natural está apoyado por las siguientes empresas a las que expresamos nuestra gratitud: Landauer Nordic (Suecia), Mi.am (Italia), Radosys (Hungría), SARAD (Alemania) y JRHC Enterprises Pty Ltd (Australia).

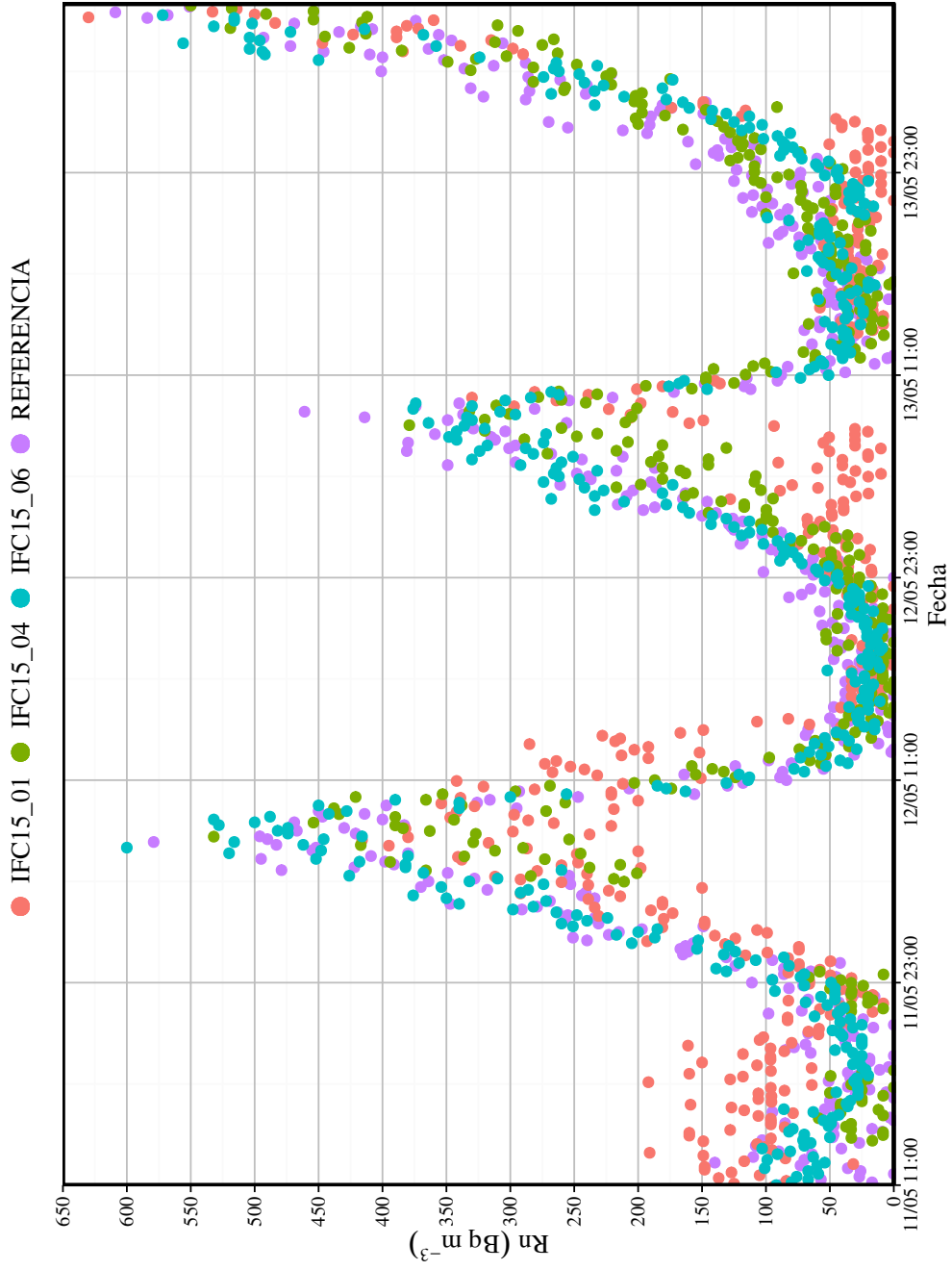
Para terminar la lista de agradecimientos, nuestra más sincero reconocimiento a la colaboración de los participantes en el ejercicio.

Por último es necesario un reconocimiento al Consejo de Seguridad Nuclear por su apoyo durante todos estos años.

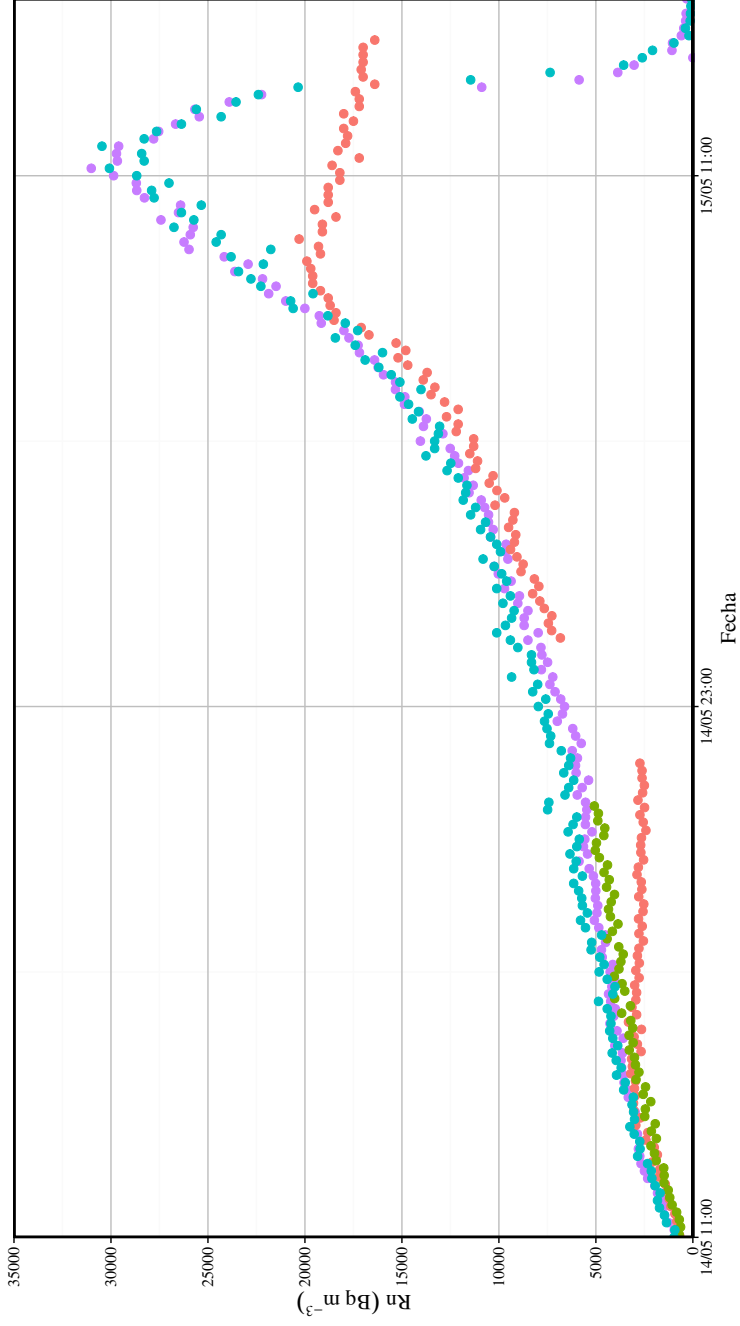
Apéndice

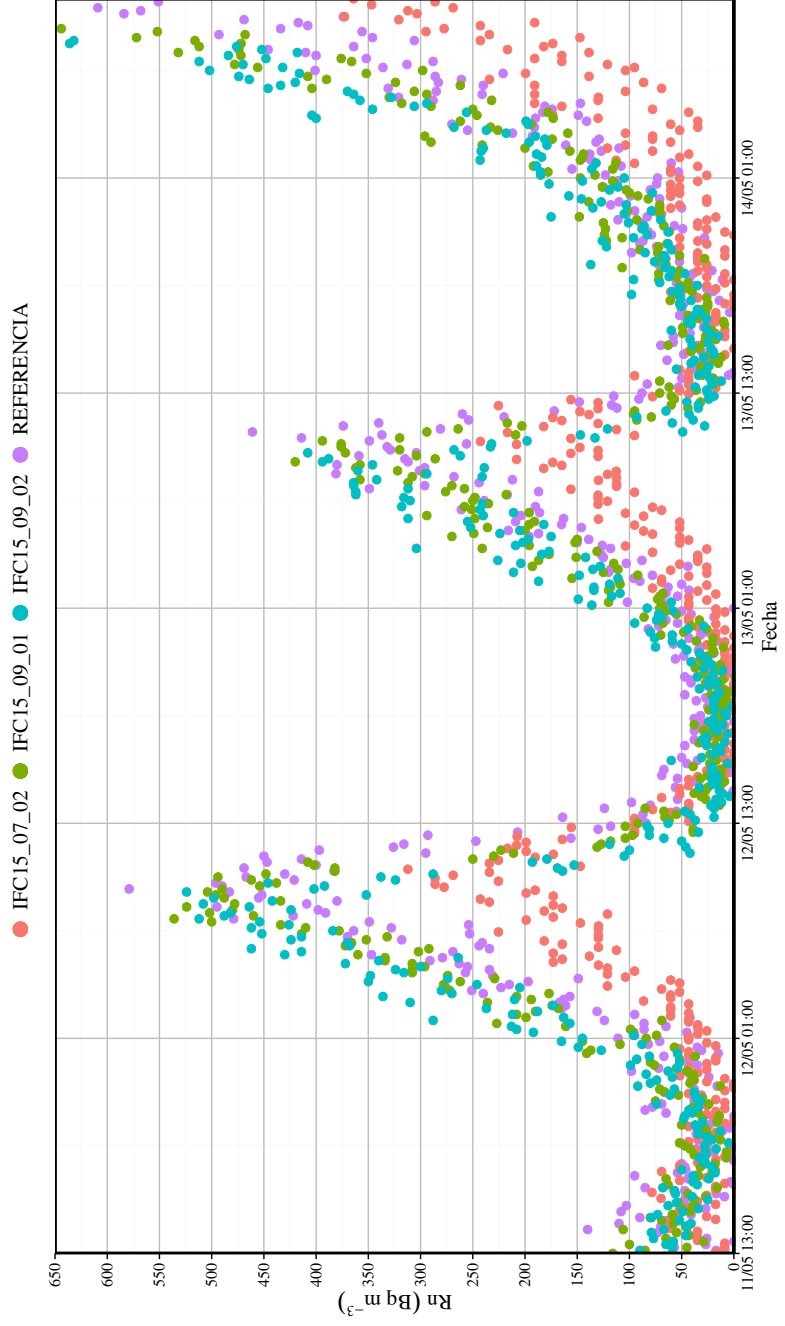
Apéndice A

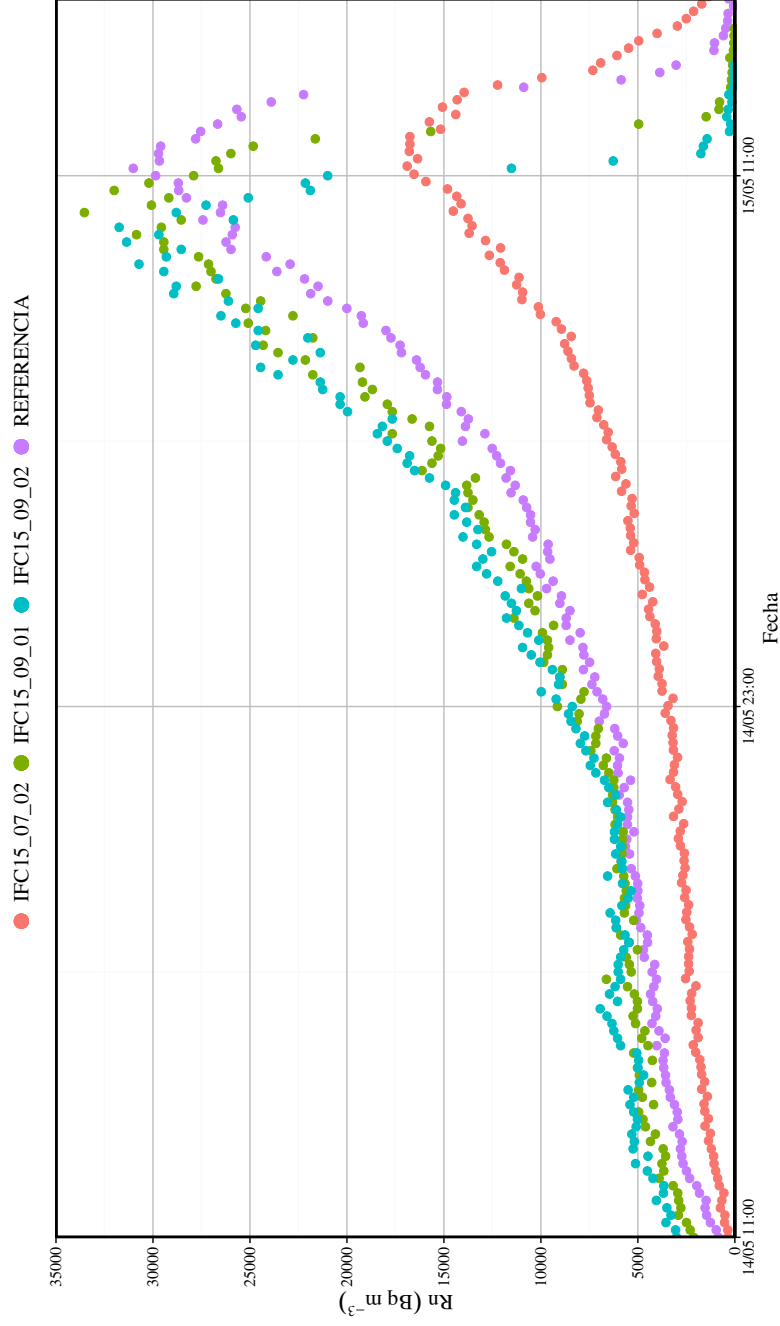
Gráficas de los equipos
participantes. Parte 1:
intervalos de 10 min

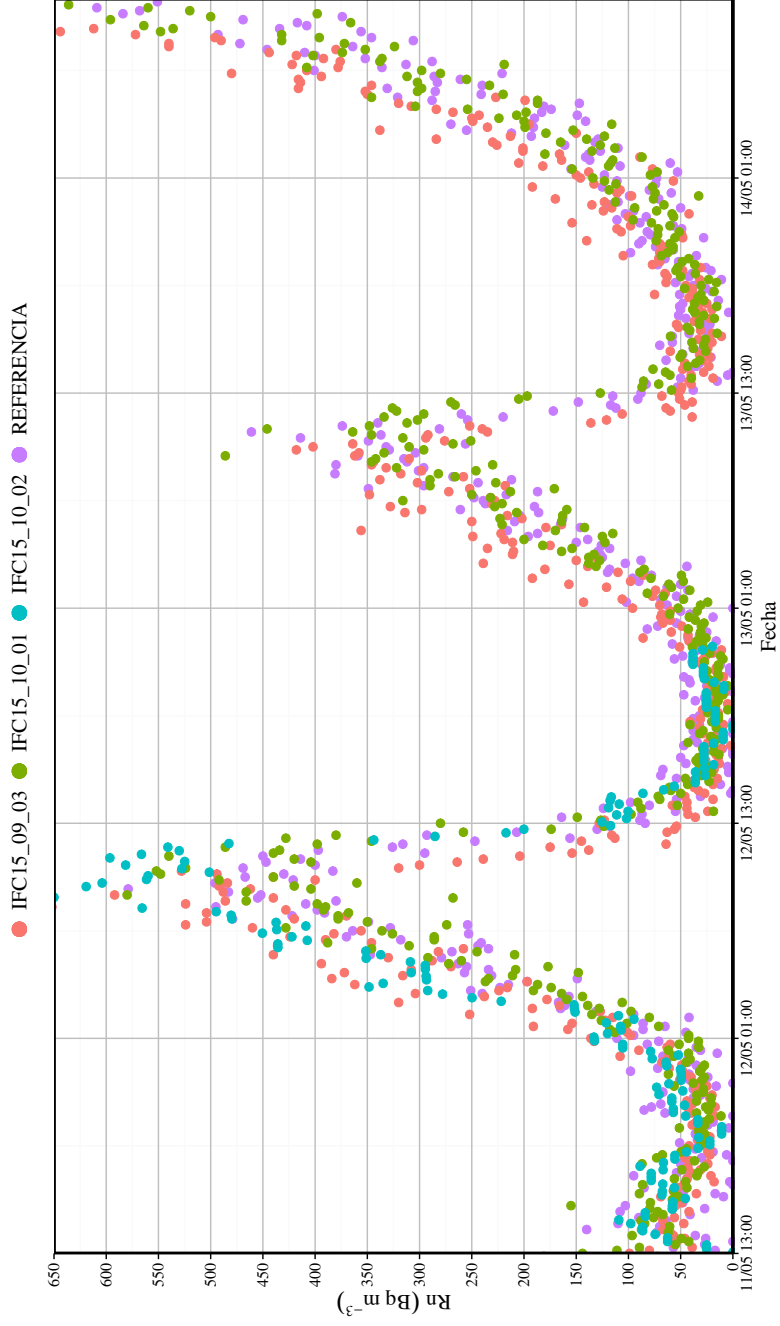


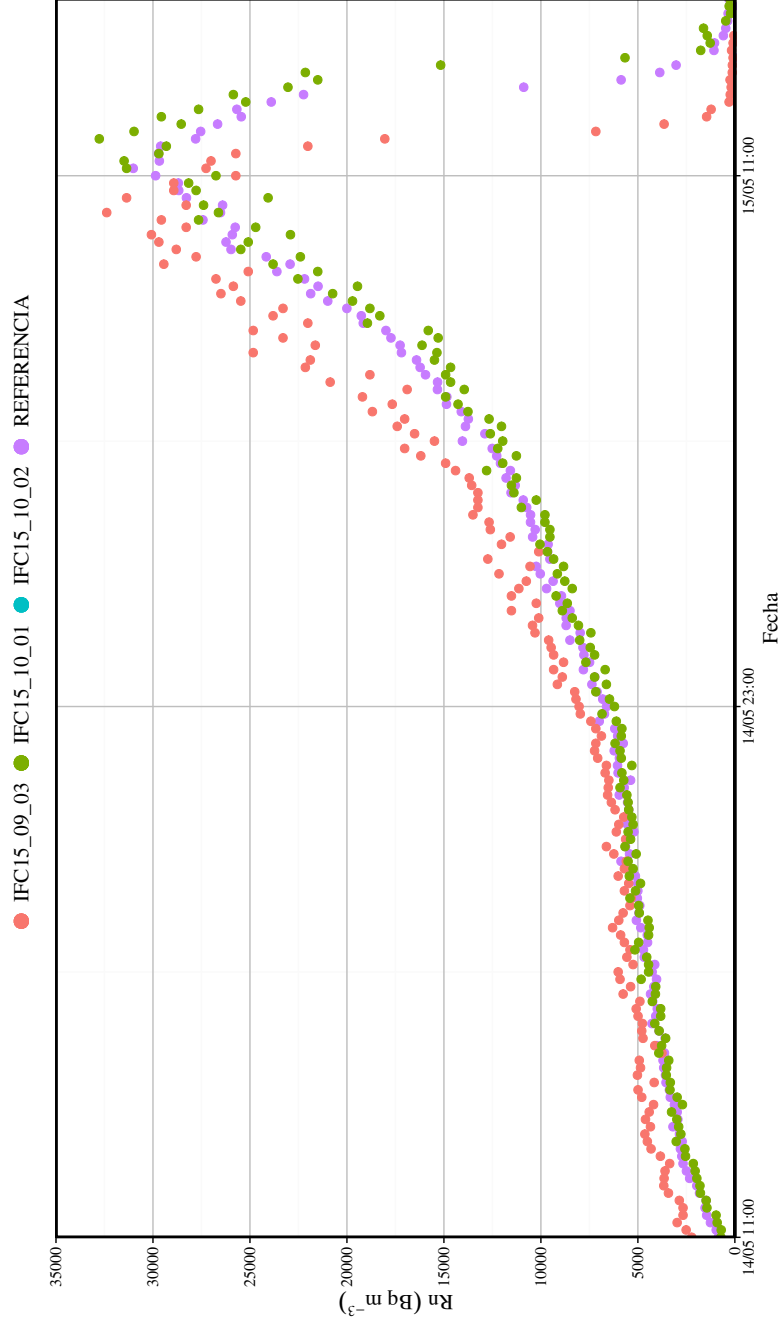
● IFC15_01 ● IFC15_04 ● IFC15_06 ● REFERENCIA

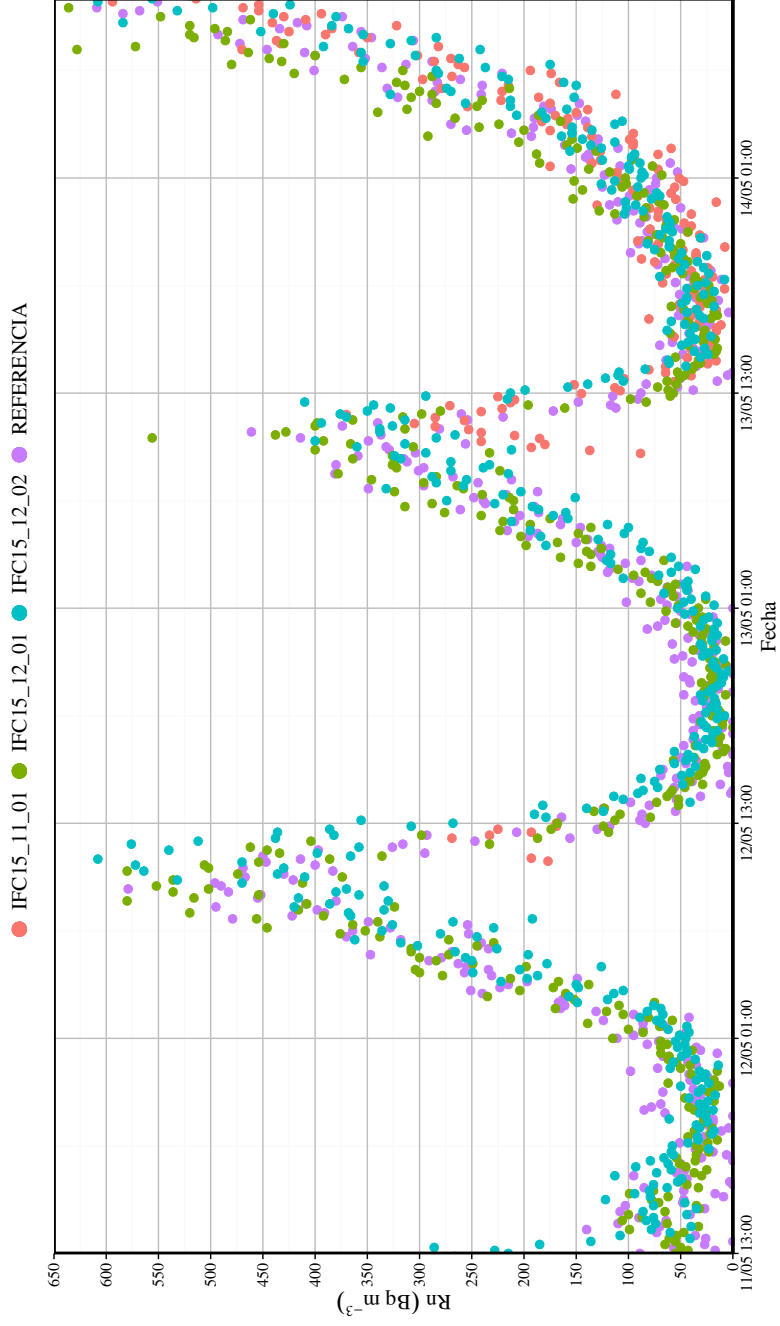


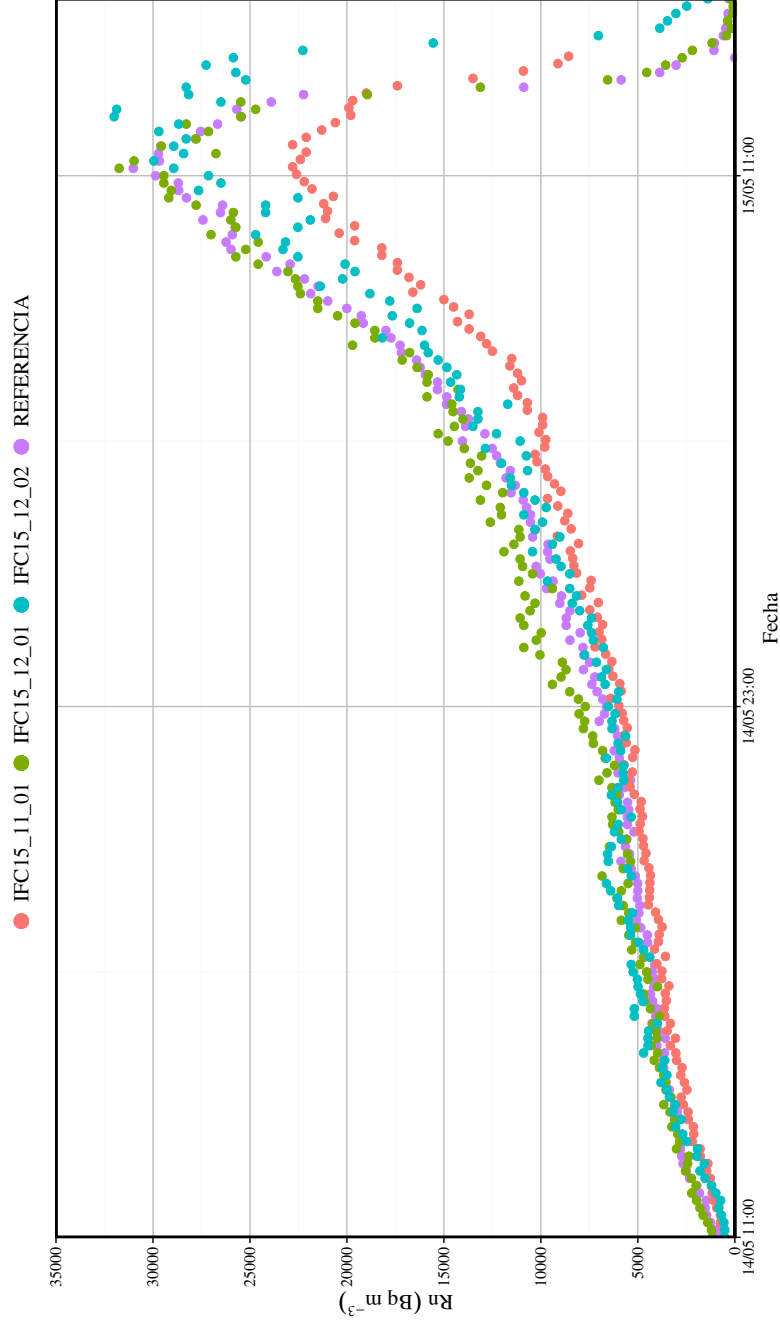


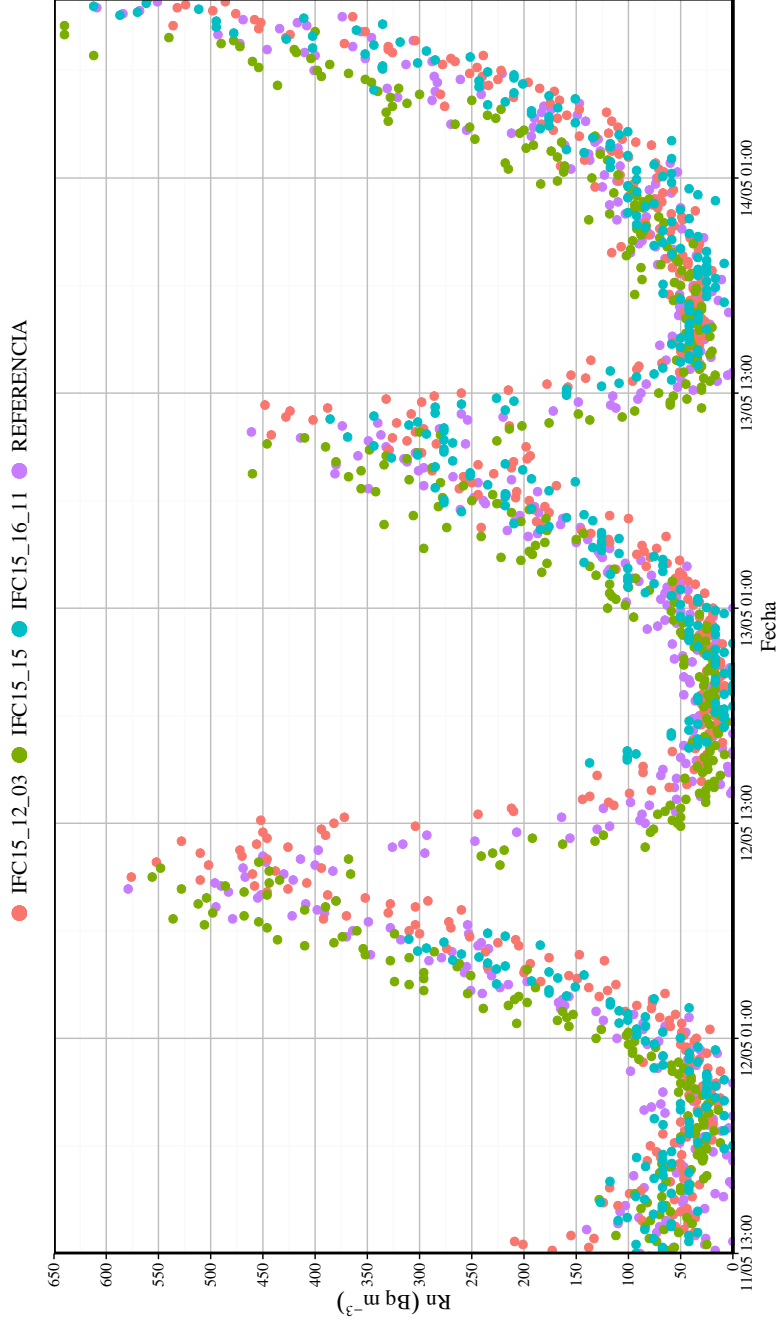


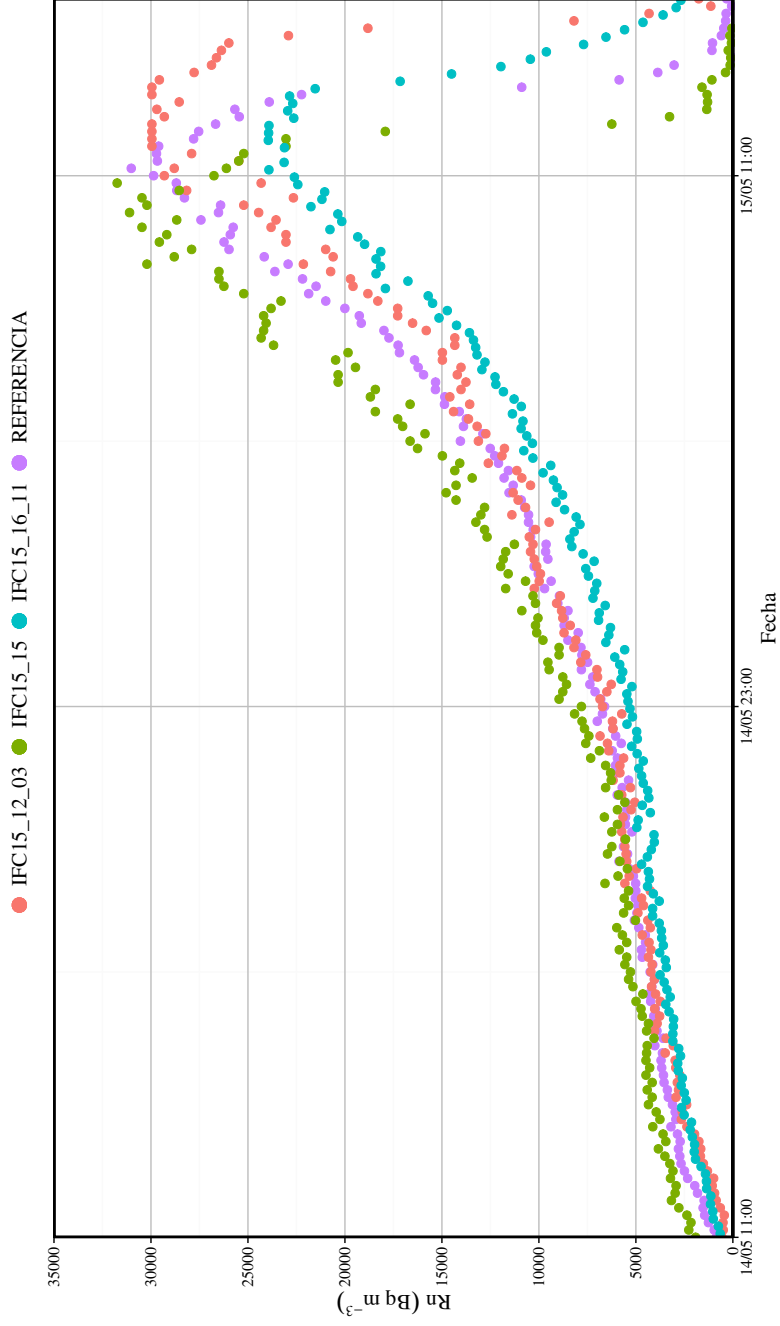


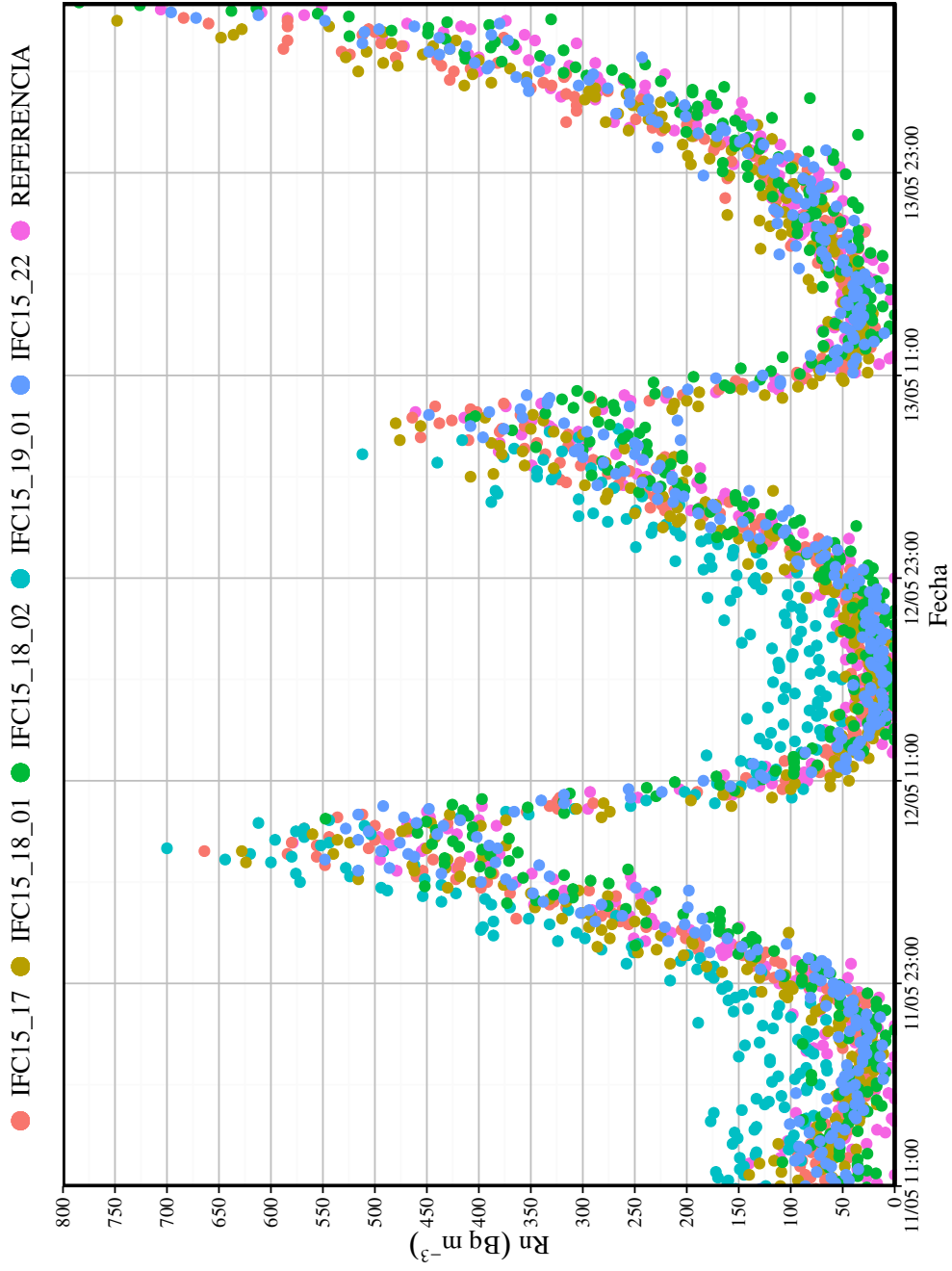


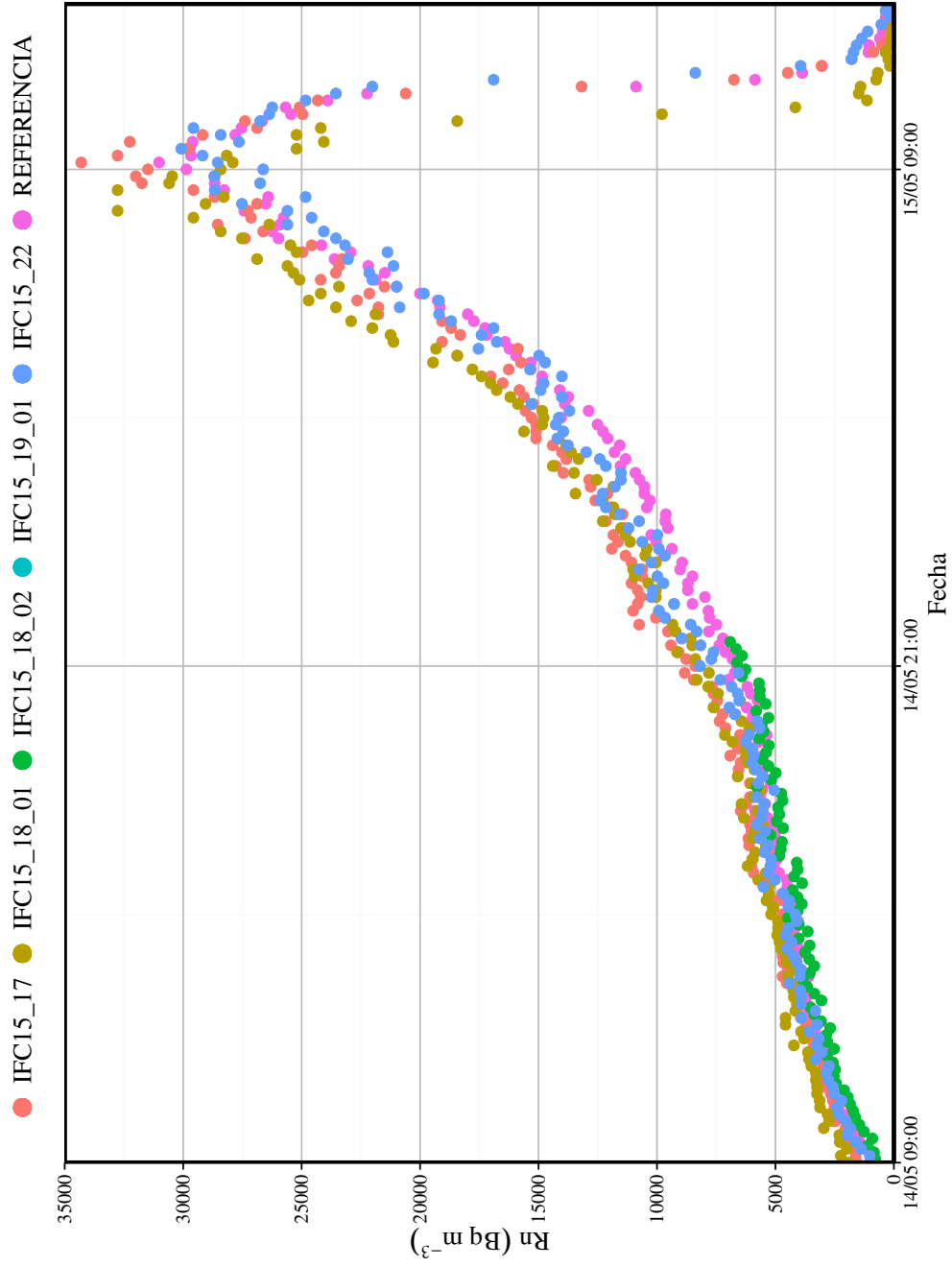


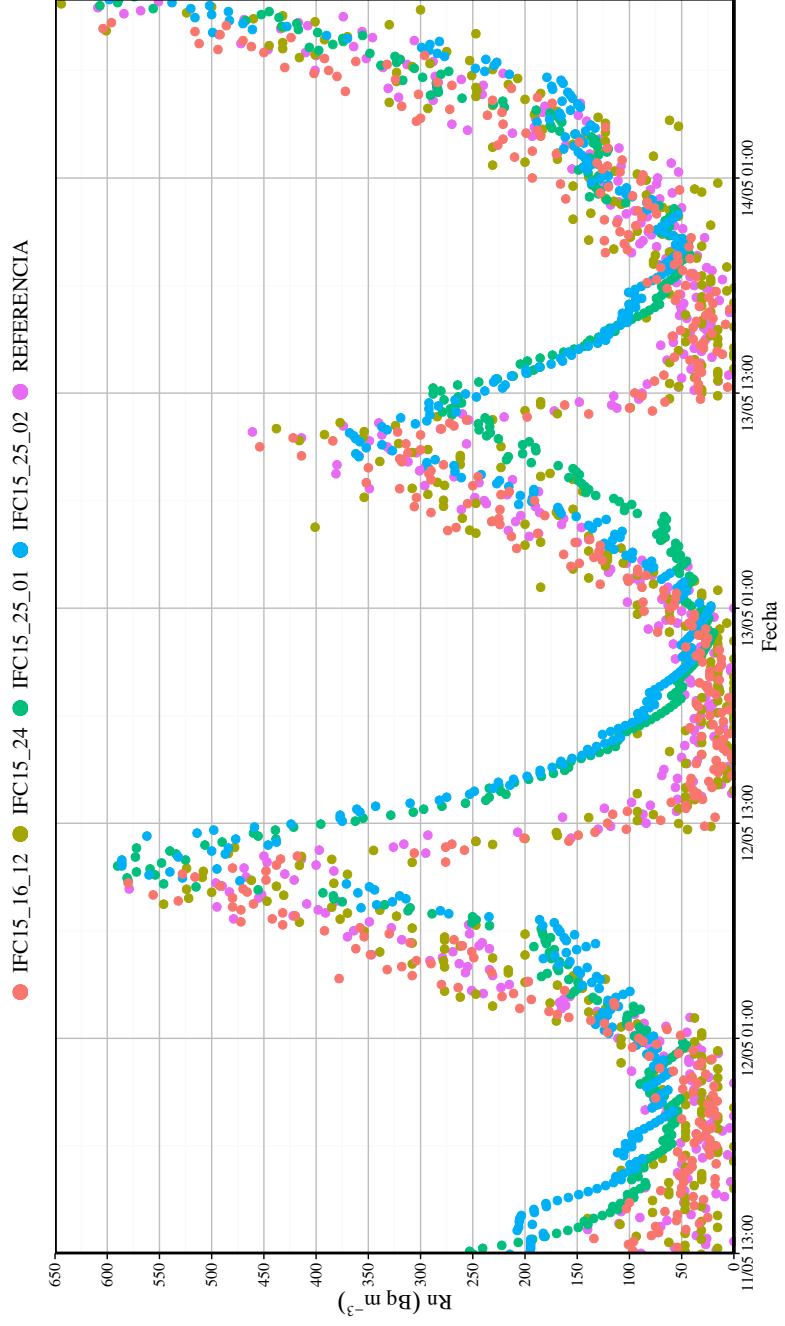


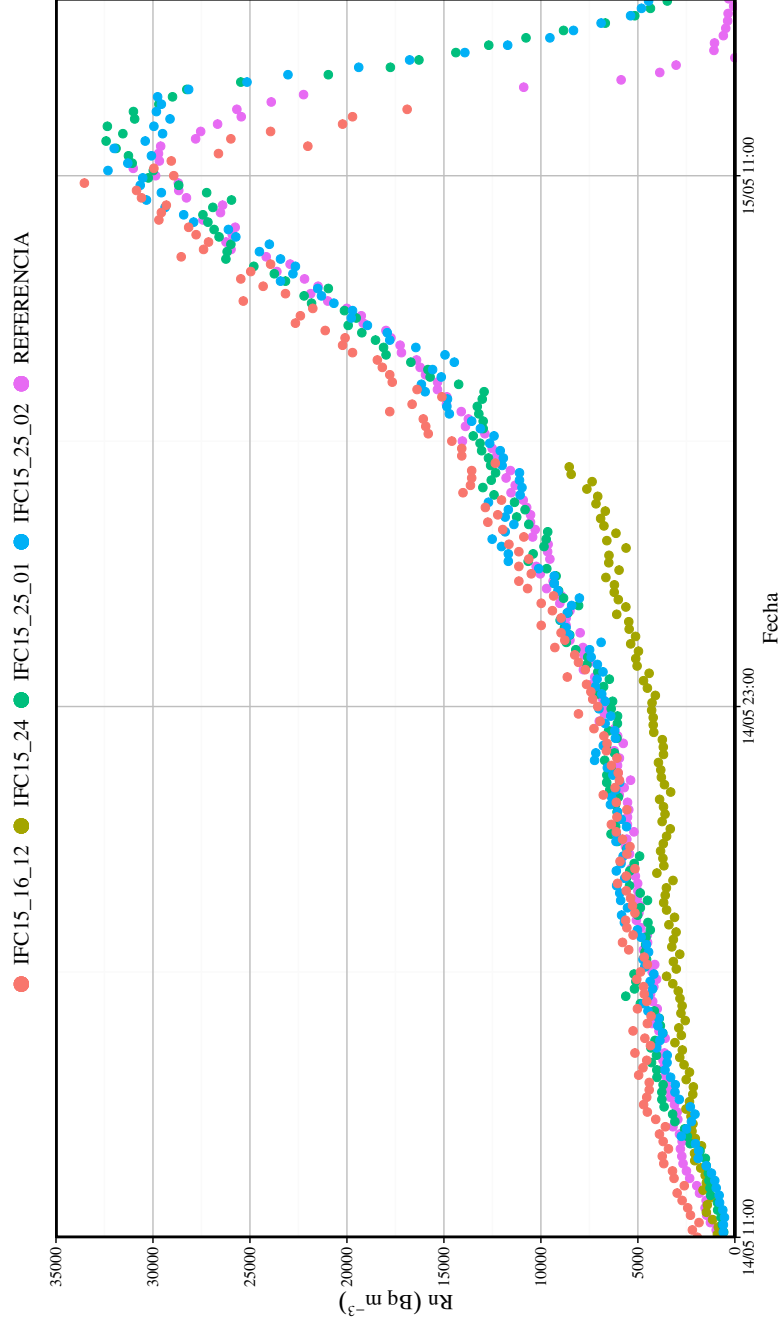






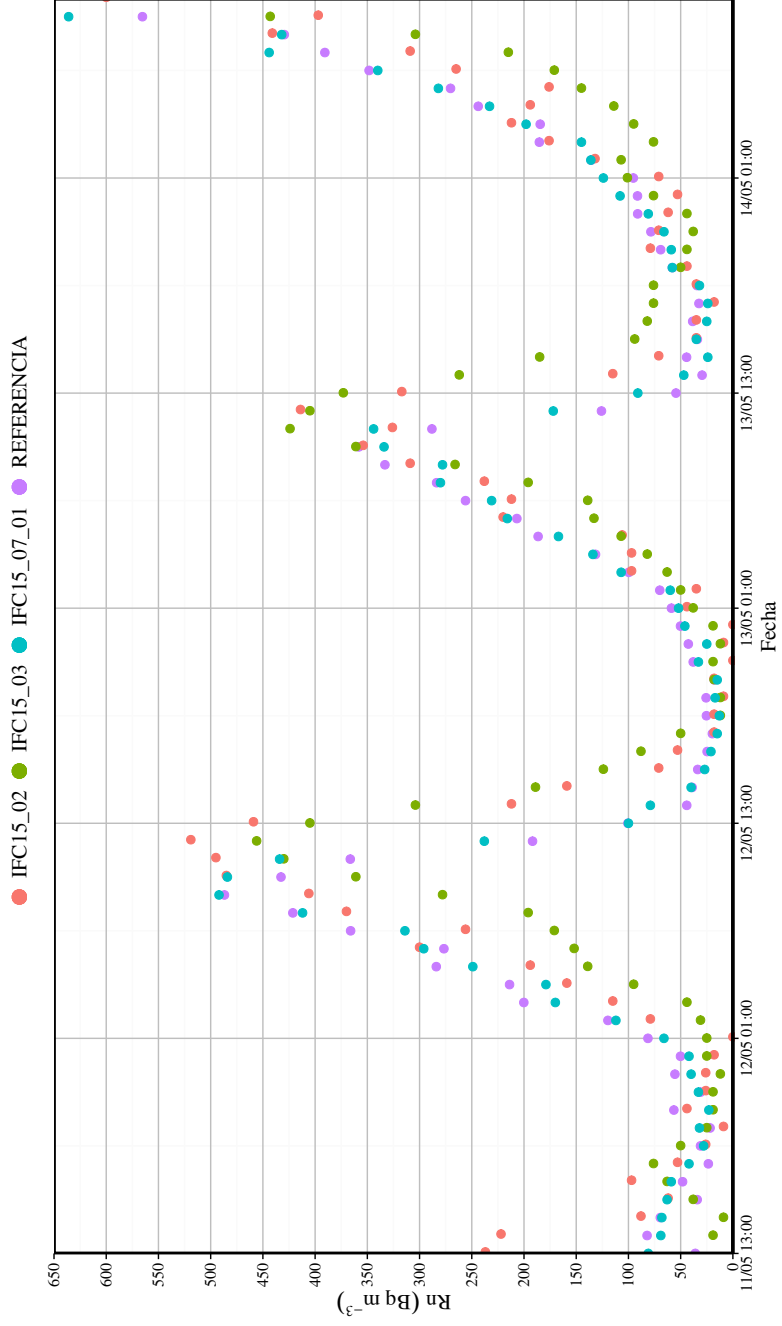


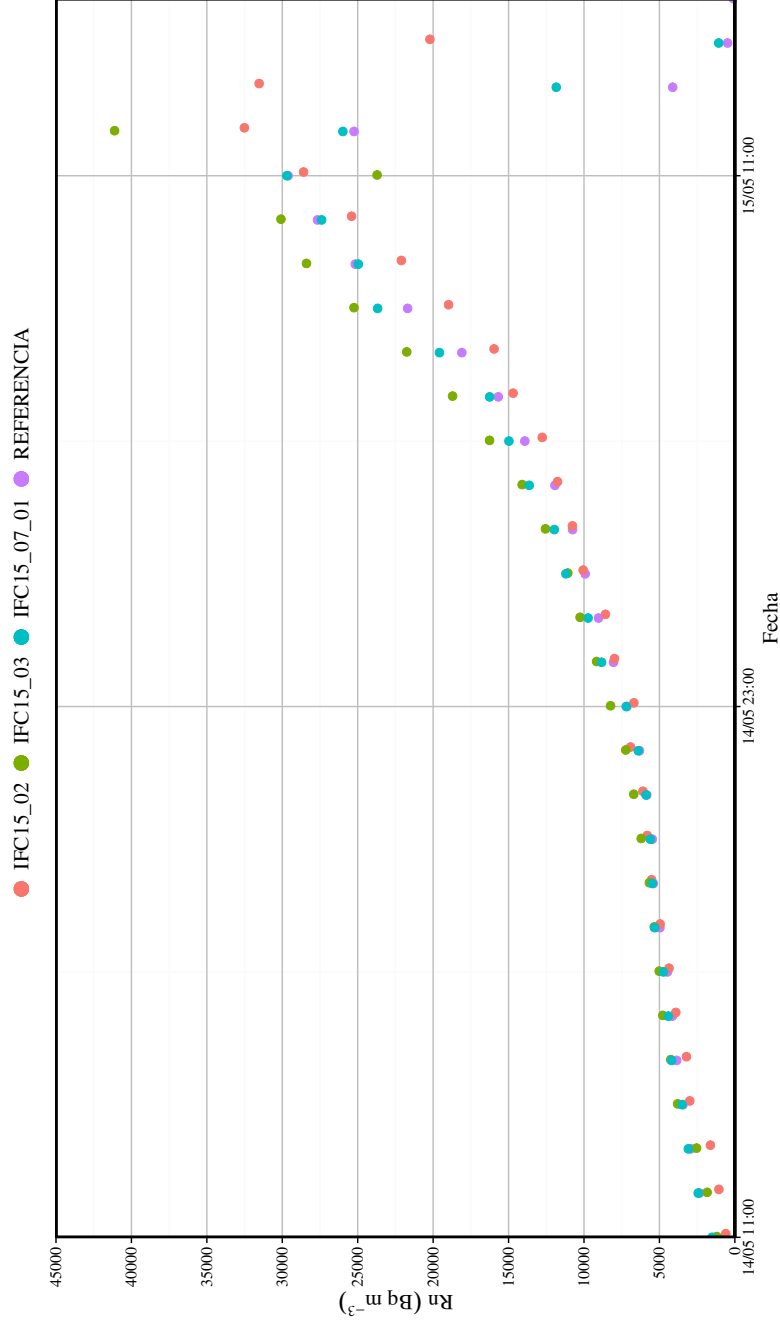


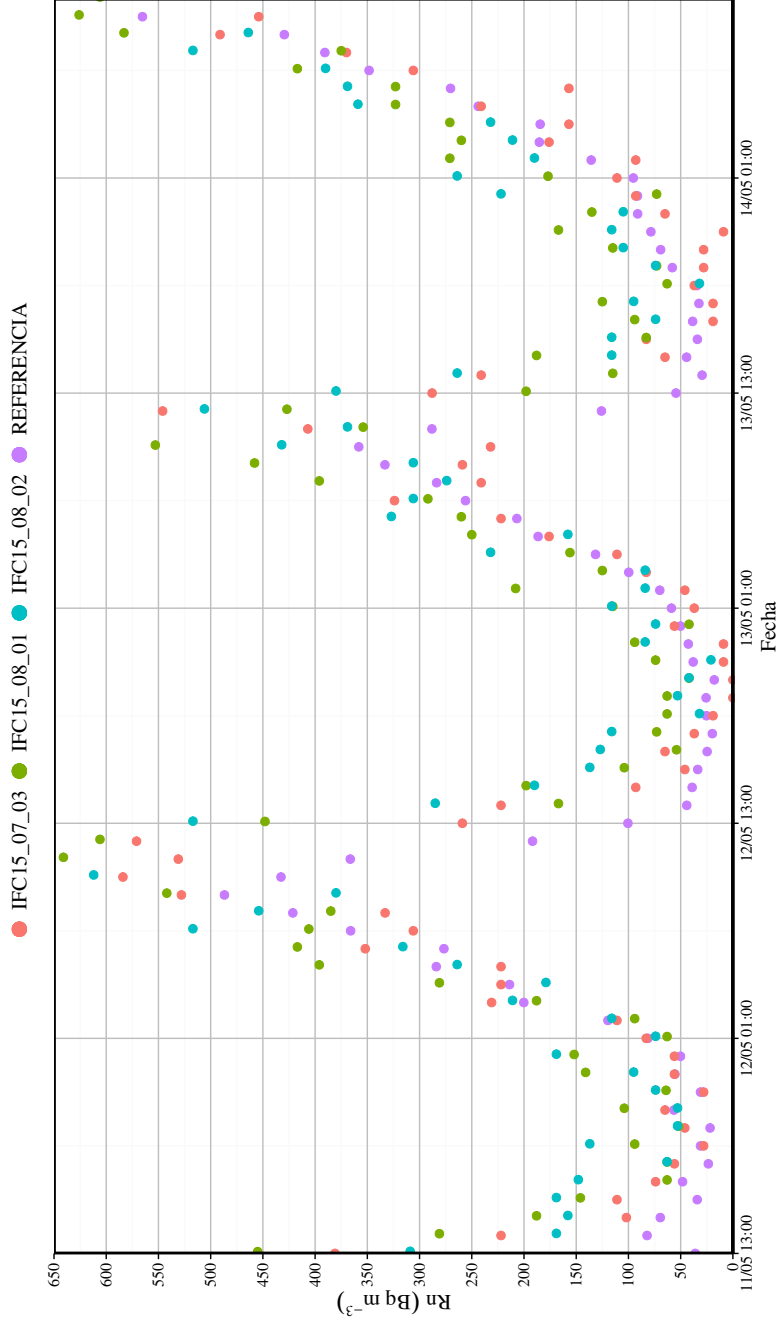


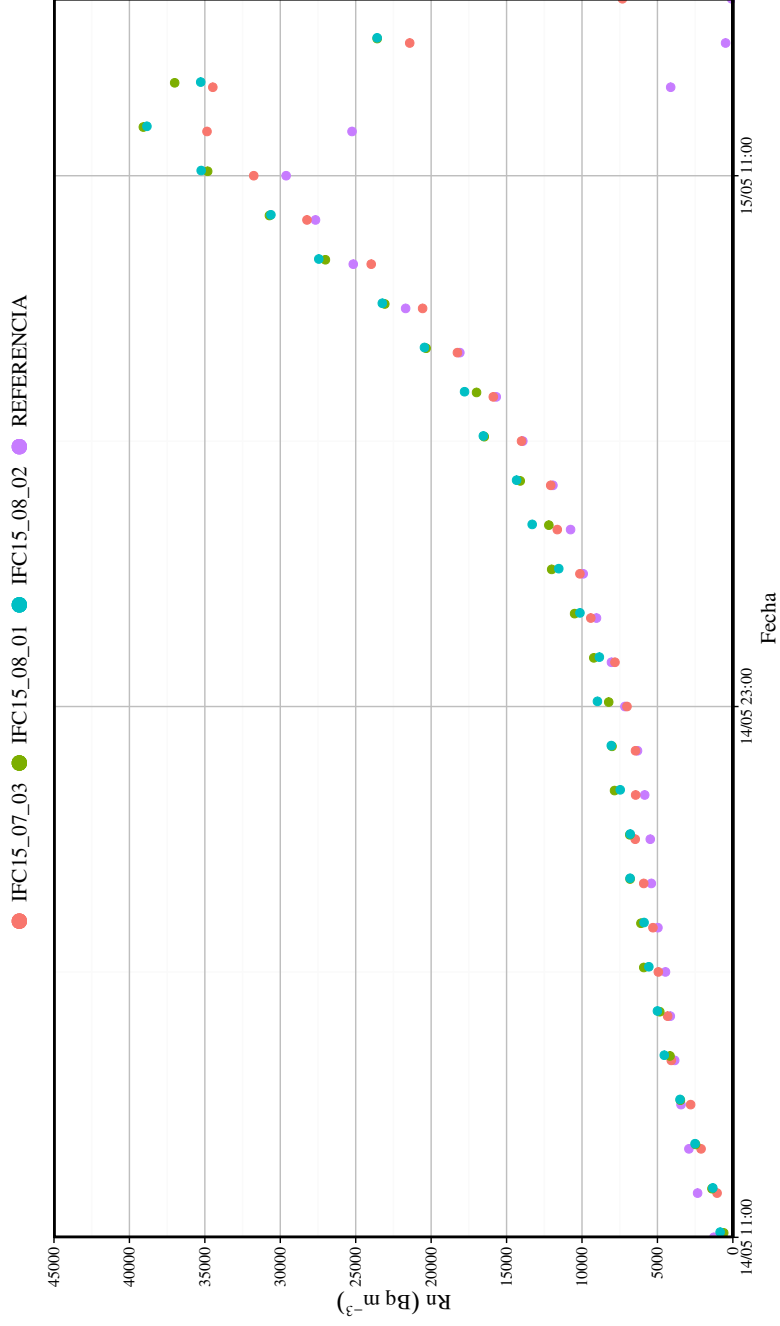
Apéndice B

Gráficas de los equipos
participantes. Parte 1:
intervalos de 60 min

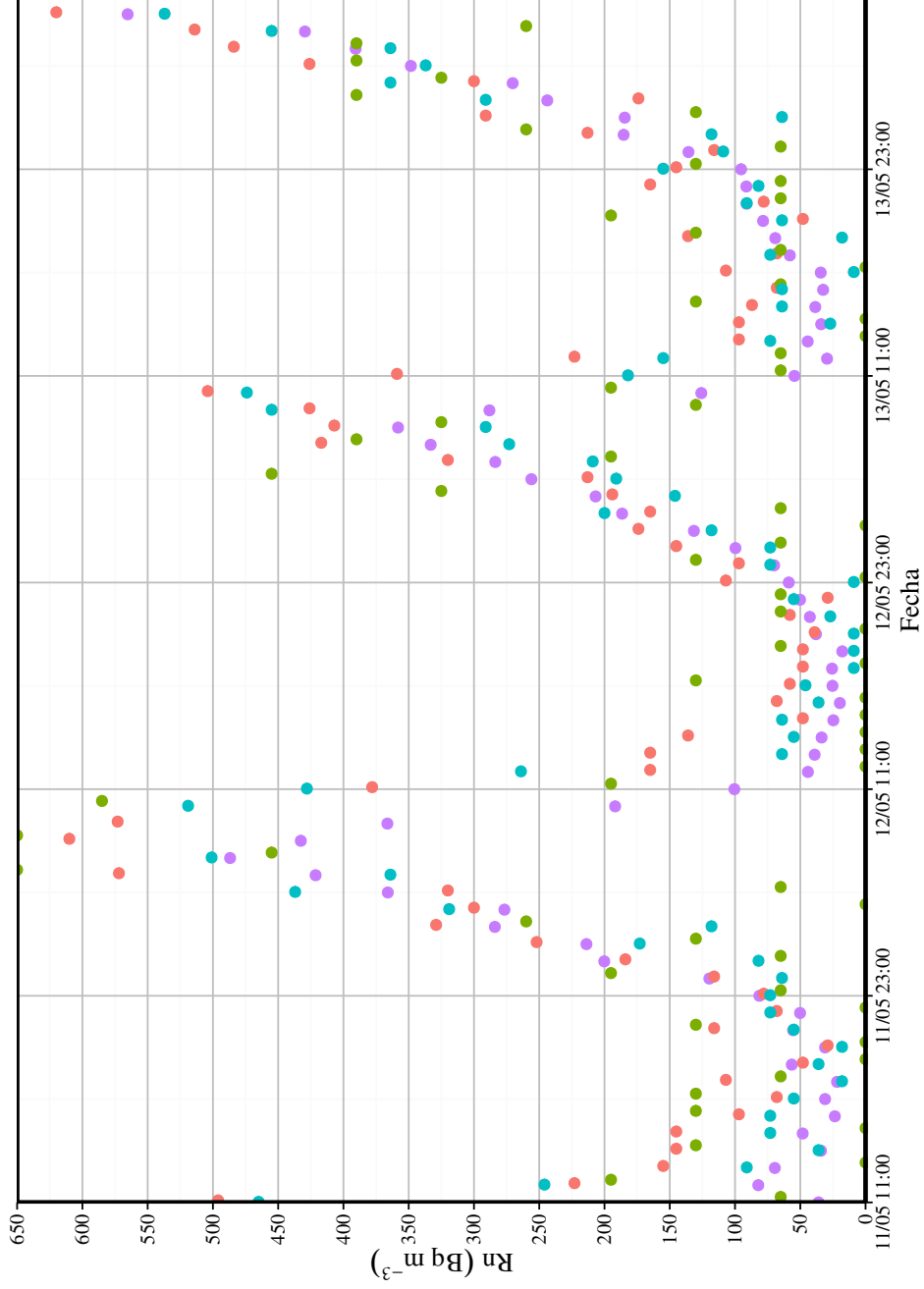


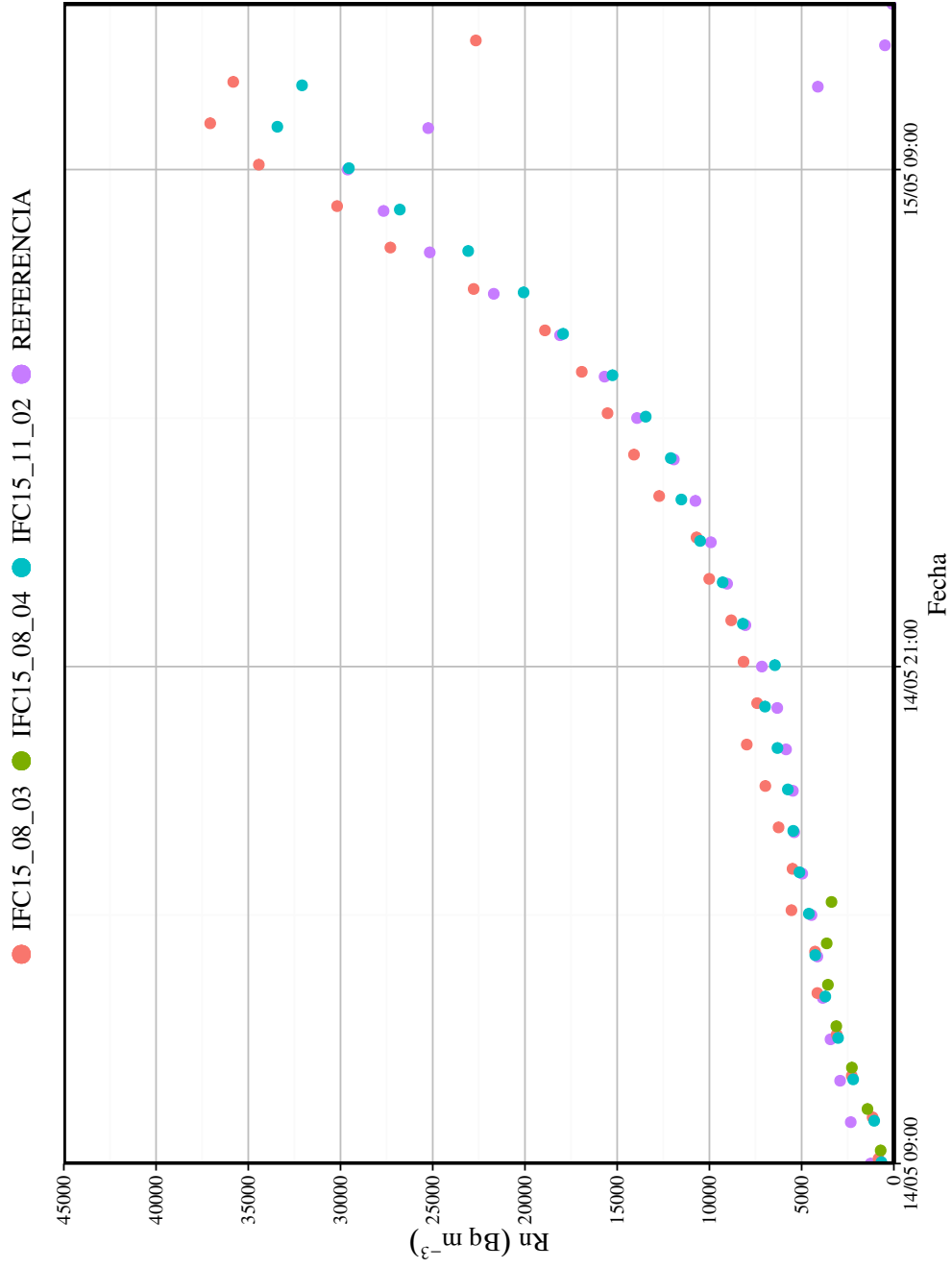


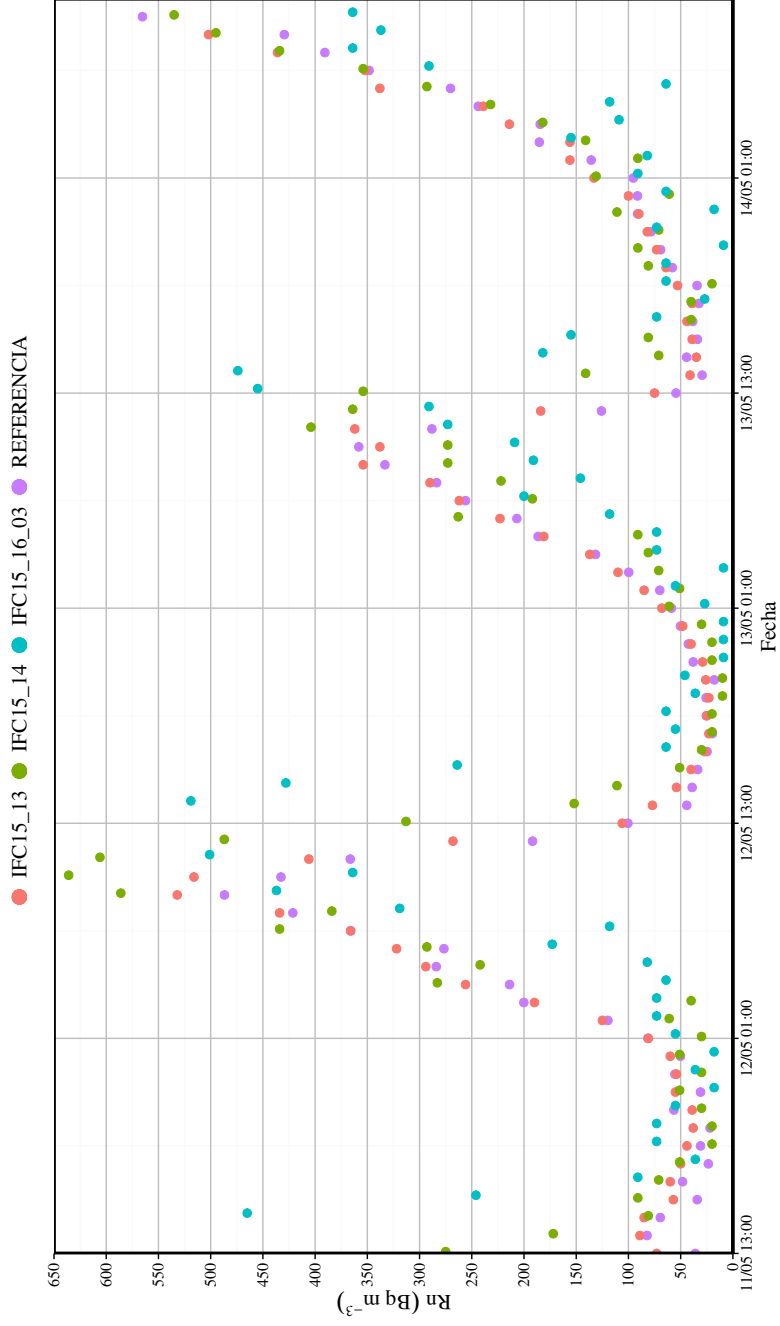




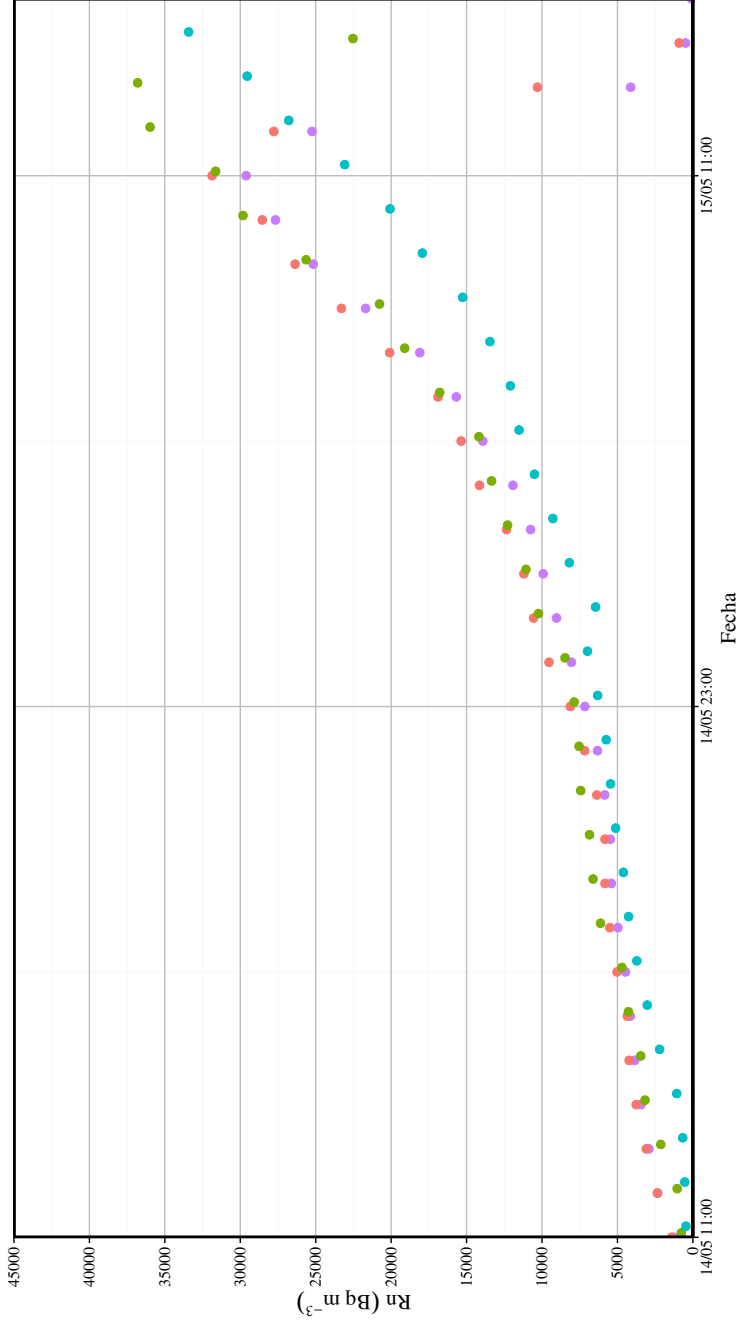
● IFC15_08_03 ● IFC15_08_04 ● IFC15_11_02 ● REFERENCIA

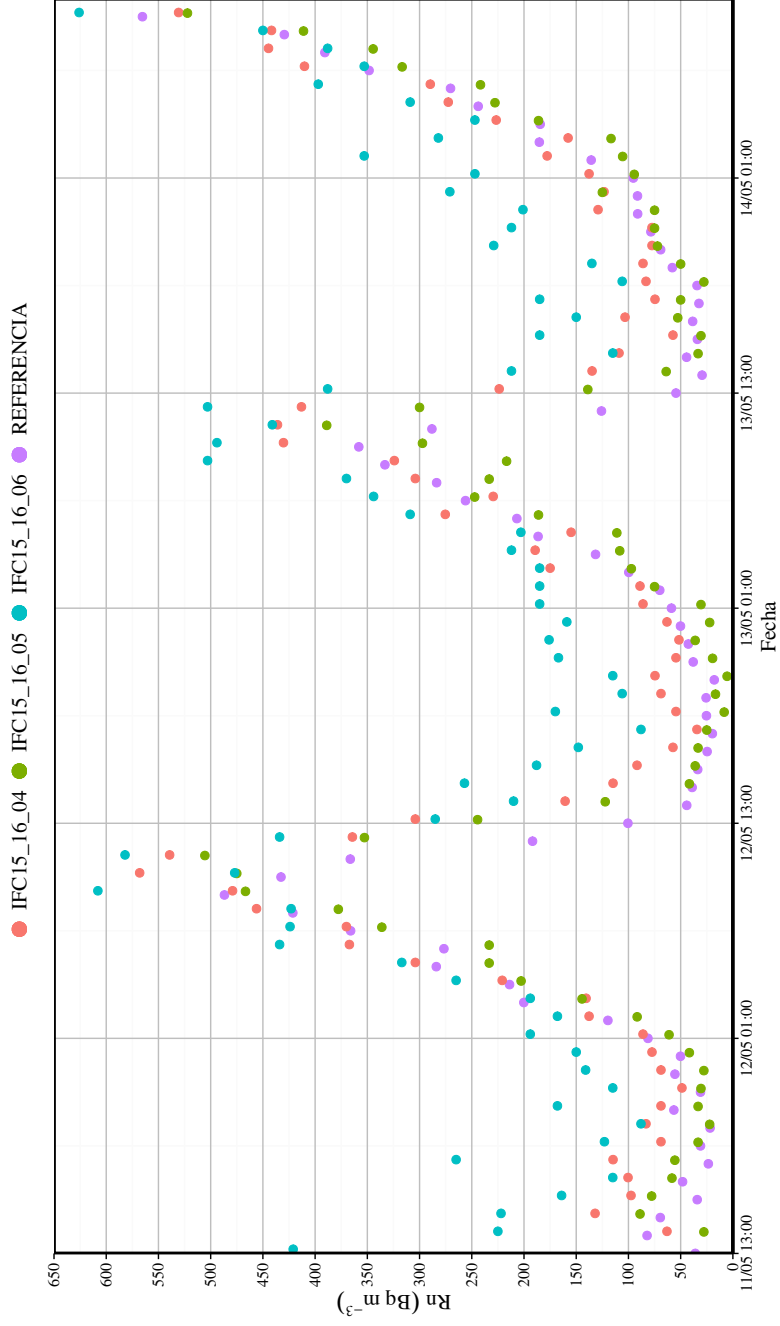


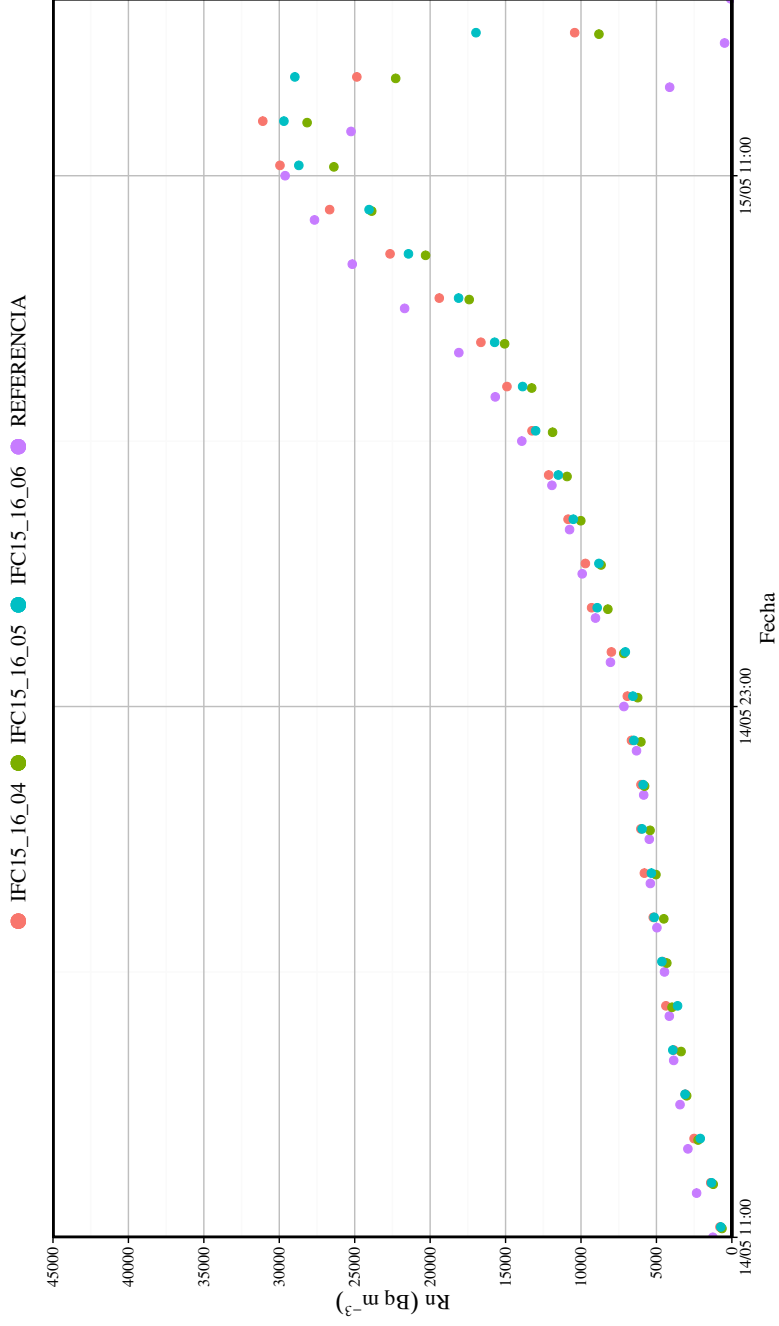


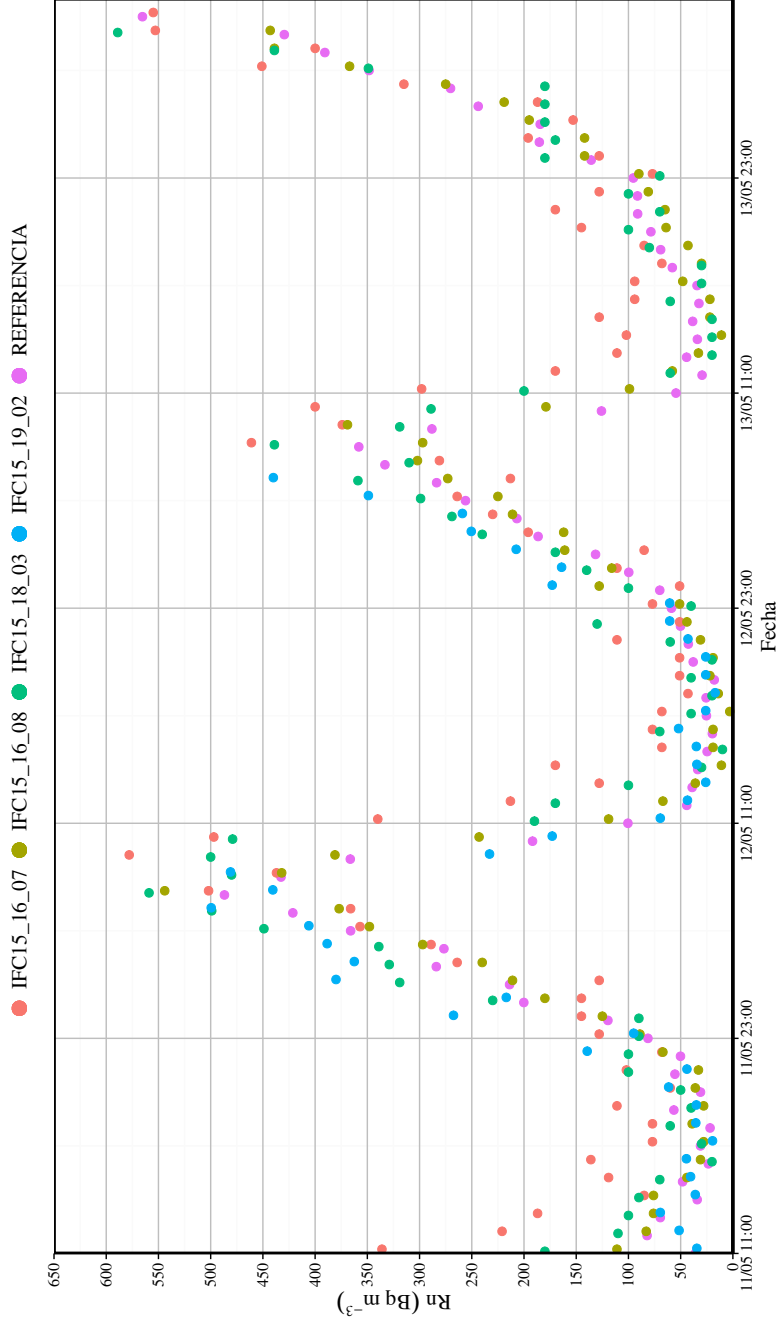


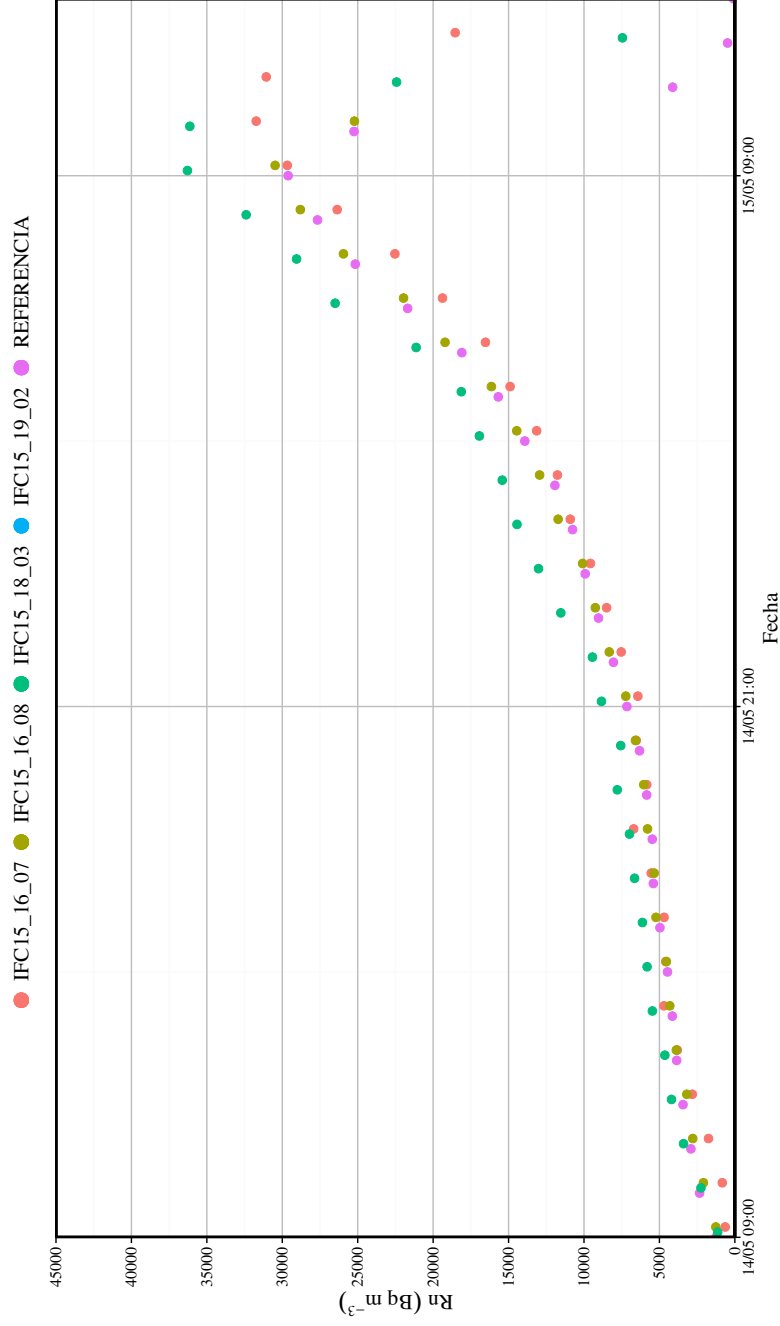
● IFC15_13 ● IFC15_14 ● IFC15_16_03 ● REFERENCIA

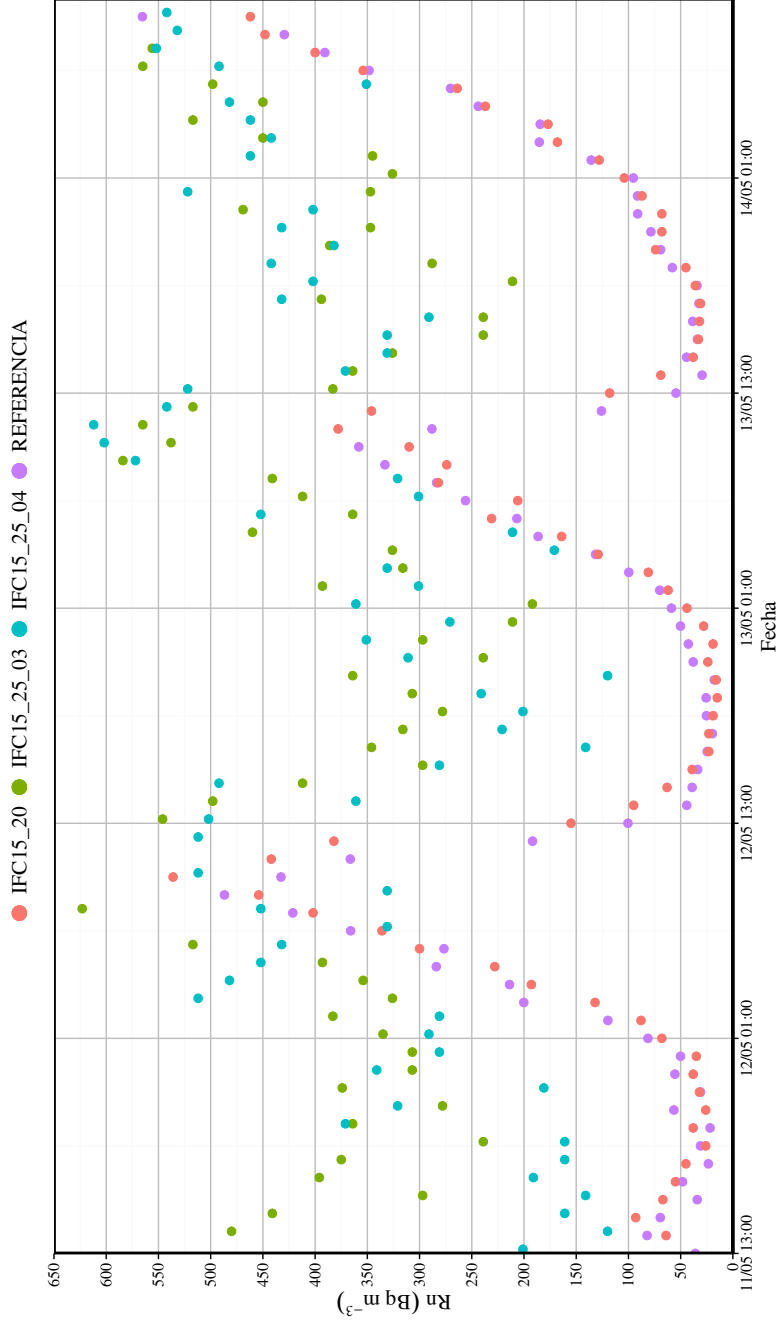




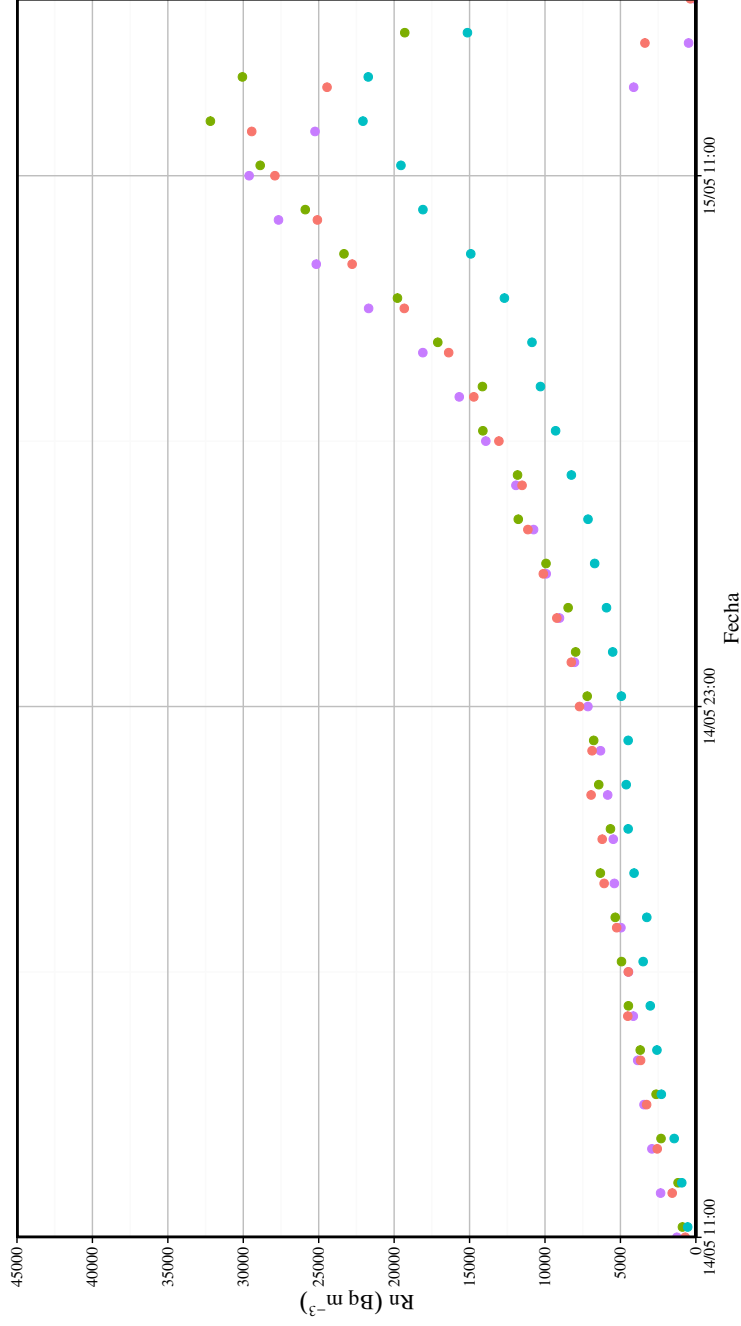


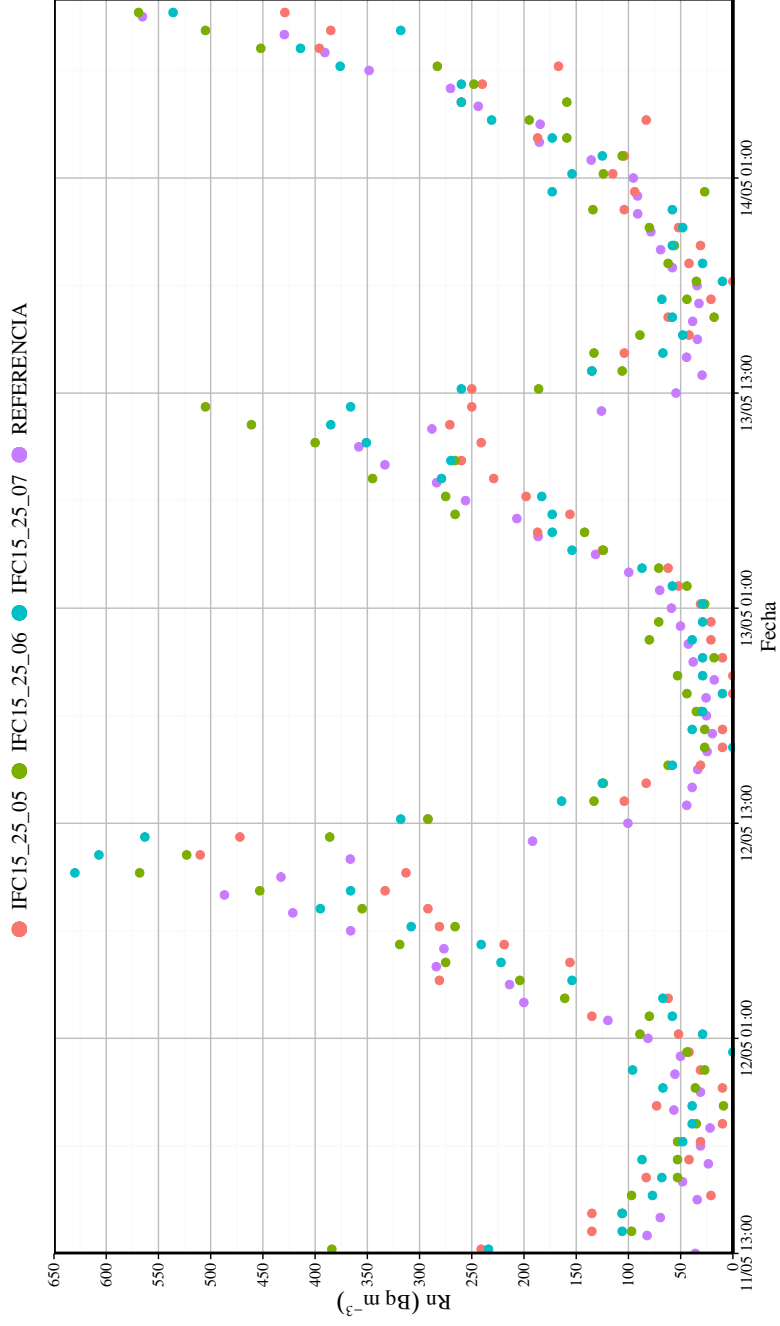




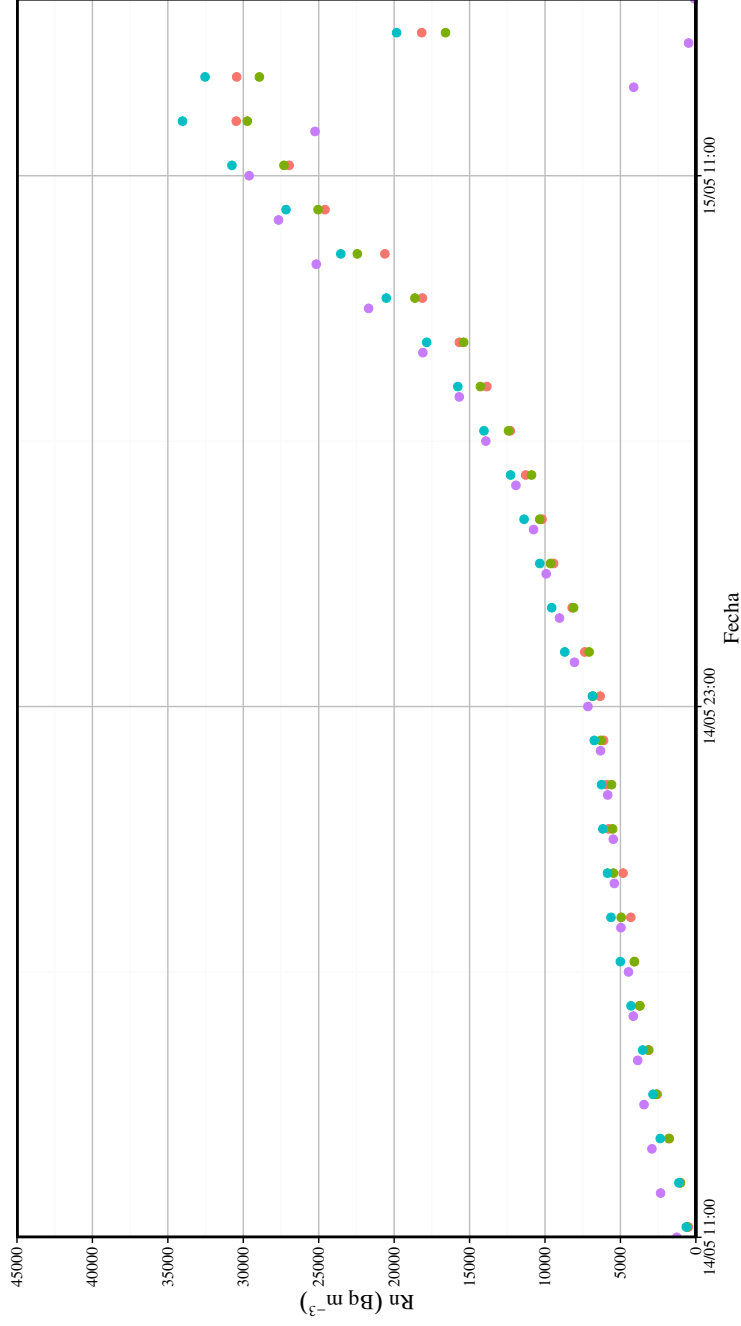


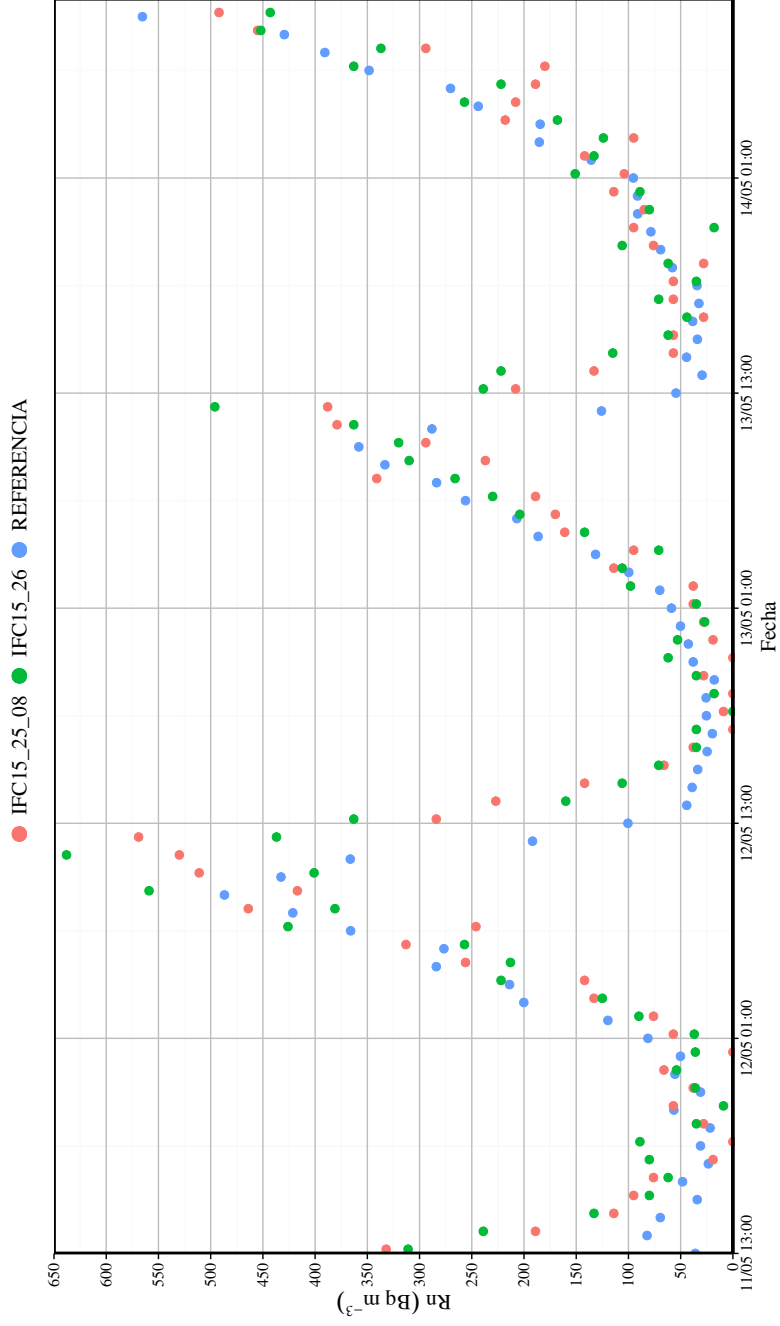
● IFC15_20 ● IFC15_25_03 ● IFC15_25_04 ● REFERENCIA



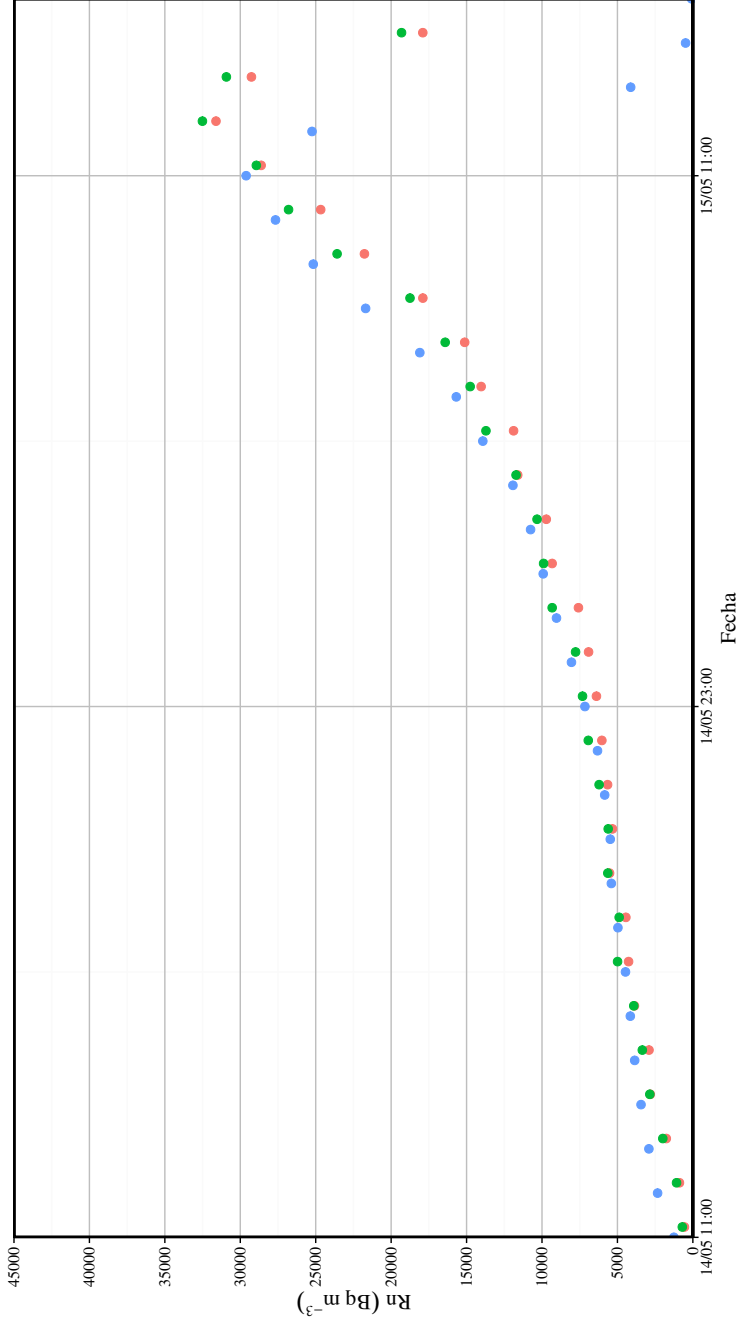


● IFC15_25_05 ● IFC15_25_06 ● IFC15_25_07 ● REFERENCIA





● IFC15_25_08 ● IFC15_26 ● REFERENCIA



Apéndice C

Resumen de los datos de concentración y exposición de los participantes

Tabla C.1: Resumen de las concentraciones y exposiciones de cada equipo participante. Los valores de exposición (Exp) aparecen en $\text{kBq m}^{-3} \text{ h}$ y los de concentración (Con) en Bq m^{-3}

IDLab	Exp1	Tiempo	Con1	Exp2	Tiempo	Con2
IFC15.01	7	70	105	224	27	8286
IFC15.02	12	70	167	333	28	11889
IFC15.03	11	69	154	325	25	13009
IFC15.04	8	67	112	31	10	3192
IFC15.06	11	70	151	298	28	10633
IFC15.07.01	12	70	171	311	27	11502
IFC15.07.02	5	71	77	159	28	5699
IFC15.07.03	13	70	187	359	28	12838
IFC15.08.01	17	70	246	403	28	14381
IFC15.08.02	17	70	247	403	28	14395

Continúa en la página siguiente

Tabla C.1 – continúa de la página anterior

IDLab	Exp1	Tiempo	Con1	Exp2	Tiempo	Con2
IFC15.08.03	17	70	236	389	28	13905
IFC15.08.04	12	70	175	18	6	3023
IFC15.09.01	13	70	181	307	27	11296
IFC15.09.02	15	70	215	299	26	11354
IFC15.09.03	13	70	186	303	27	11211
IFC15.10.01	11	70	155	294	28	10547
IFC15.10.02	5	34	141	–	–	–
IFC15.11.01	4	48	87	233	27	8739
IFC15.11.02	13	70	189	319	26	12263
IFC15.12.01	12	70	165	307	28	10963
IFC15.12.02	11	70	150	306	28	10927
IFC15.12.03	10	70	147	312	28	11134
IFC15.13	13	70	185	322	27	11935
IFC15.14	13	70	185	378	28	13514
IFC15.15	13	70	184	305	27	11142
IFC15.16.03	13	69	195	323	28	11538
IFC15.16.04	14	69	208	321	28	11448
IFC15.16.05	11	69	158	287	28	10257
IFC15.16.06	19	70	278	318	28	11368
IFC15.16.07	15	70	211	333	28	11905
IFC15.16.08	12	70	169	293	25	11713
IFC15.16.11	8	70	109	240	28	8601
IFC15.16.12	12	70	171	299	26	11739
IFC15.17	12	70	171	323	28	11529

Continúa en la página siguiente

Tabla C.1 – continúa de la página anterior

IDLab	Exp1	Tiempo	Con1	Exp2	Tiempo	Con2
IFC15.18.01	13	70	186	305	28	10893
IFC15.18.02	10	70	143	51	13	3923
IFC15.18.03	14	70	200	384	28	13714
IFC15.19.01	9	45	212	–	–	–
IFC15.19.02	7	43	161	–	–	–
IFC15.20	11	70	164	307	28	10963
IFC15.22	11	70	157	303	28	10823
IFC15.24	10	70	144	68	17	3921
IFC15.25.01	12	70	168	321	28	11548
IFC15.25.02	12	70	177	320	28	11508
IFC15.25.03	31	70	436	339	28	12113
IFC15.25.04	27	70	379	235	28	8384
IFC15.25.05	10	70	149	314	28	11229
IFC15.25.06	13	70	185	315	28	11241
IFC15.25.07	12	70	178	353	28	12593
IFC15.25.08	12	70	171	315	28	11262
IFC15.26	13	70	186	337	28	12046

Bibliografía

- [1] BOE 22. Instrucción IS-33, de 21 de diciembre de 2011, del consejo de seguridad nuclear, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural, 2012.
- [2] Council of the European Union. Directive 2013/59/Euratom of 5 december 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, 2014.
- [3] J.L. Gutierrez-Villanueva, C. Sainz Fernandez, I. Fuente Merino, L. Quindos Lopez, J. Quindos Lopez, A. Fernandez Villar, S.E. Casal Ordas, D. Lopez Abascal, D. Arteché Laso, E. Fernandez Lopez, and L.S. Quindos Poncela. *International intercomparison exercise on natural radiation measurements under field conditions*. PubliCan Ediciones Universidad de Cantabria, 2012.
- [4] J.L. Gutierrez-Villanueva, C. Sainz Fernandez, I. Fuente Merino, S Celaya Gonzales, L. Quindos Lopez, J. Quindos Lopez, A. Fernandez Villar, S.E. Casal Ordas, D. Lopez Abascal, D. Arteché Laso, E. Fernandez Lopez, and L.S. Quindos Poncela. *Inter-laboratory comparison on indoor radon measurements under field conditions*. PubliCan Ediciones Universidad de Cantabria, 2015.
- [5] C. Sainz-Fernandez, A. Fernandez-Villar, I. Fuente-Merino, J. L. Gutierrez-Villanueva, J. L. Martín-Matarranz, M. García-Talavera, S. Casal-Ordas, and L. S. Quindos-Poncela. The spanish indoor radon mapping strategy. *Radiation Protection Dosimetry*, 162(1-2):58–62, Nov 2014.
- [6] J. L. Gutierrez-Villanueva, C. Sainz-Fernandez, I. Fuente-Merino, J. C. Saez-Vergara, E. Correa-Garces, and L. S. Quindos-Poncela. Intercom-

parison exercise on external gamma dose rate under field conditions at the laboratory of natural radiation (Saelices El Chico, Spain). *Radiation Protection Dosimetry*, 155(4):459–466, AUG 2013.

- [7] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013. ISBN 3-900051-07-0.
- [8] Yvan Vander Heyden and Johanna Smeyers-Verbeke. Set-up and evaluation of interlaboratory studies. *Journal of Chromatography a*, 1158(1-2):158–167, JUL 27 2007.
- [9] Peter-T Wilrich. Critical values of mandel’s h and k, the grubbs and the cochrane test statistic. *Asta-Advances in Statistical Analysis*, 97(1):1–10, JAN 2013 2013.
- [10] G. B. Wu and H. Meng. Application and improvement of the youden analysis in the intercomparison between flowmeter calibration facilities. *Flow Measurement and Instrumentation*, 7(1):19–24, MAR 1996.



Marzo, 2016

