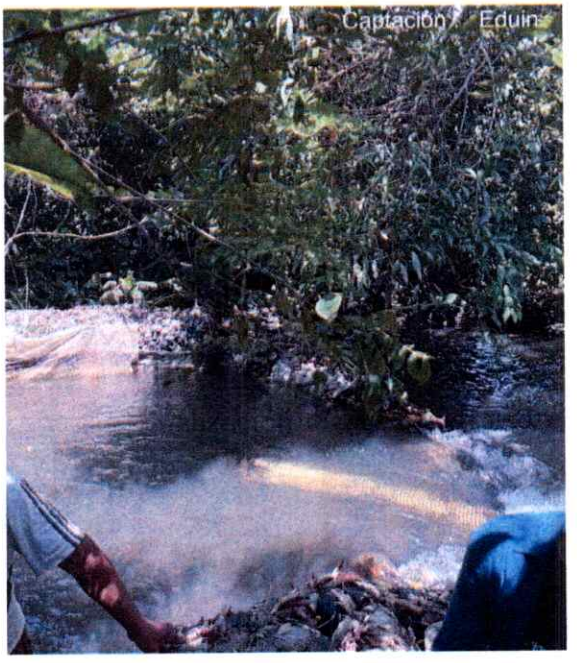
Ilustración 2 - 17 Captación Onésimo Muñoz

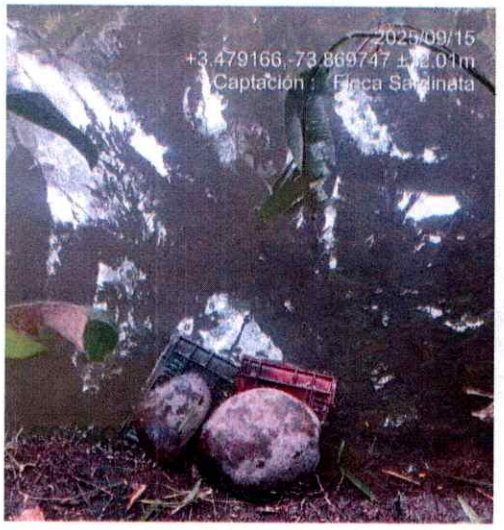


2.2.15. **Usuario 15:** Eider Aníbal Aroca

El señor Eider Aníbal Aroca, propietario del predio Finca Sardinata, ubicado en la vereda Aguas Claras Rural del municipio de Granada, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.479236 N, -73.86974 W a una altura de 437 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Bueno, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma Sumergida y conducción mediante PVC. El uso del agua es Piscícola. Se determina un caudal captado de 11.55 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Ilustración 2 - 18 Captación y Finca Sardinata





2.2.16. **Usuario 16:** Wilmer Galindo

El señor Wilmer Andrés Galindo, arrendatario del predio Lote 1, ubicado en la vereda Aurora del municipio de Lejanías, el permiso de concesión de agua superficial queda a nombre de Ilsen García Rivas.

Deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.47968 N, -73.877914 W a una altura de 442 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Bueno, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma Lateral y conducción mediante PVC. El uso del agua es Piscícola. Se determina un caudal captado de 17.8 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Ilustración 2 - 19 Captación y usos Wilmer Galindo





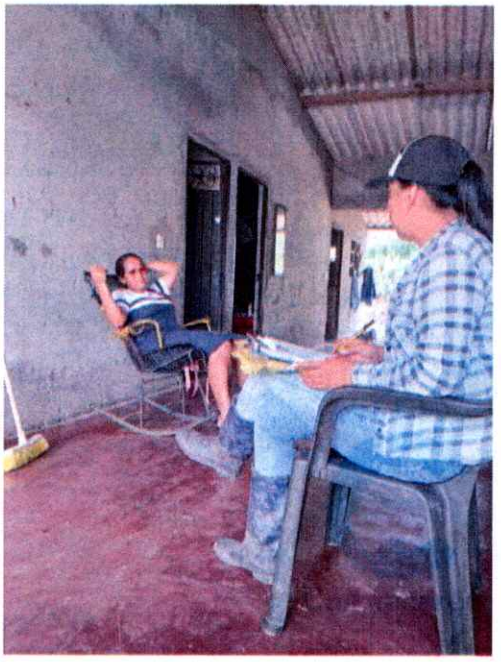
2.2.17. **Usuario 17:** Blanca Hernández

La señora Blanca Nidia Hernández, propietario del predio Finca Santa Helena, ubicado en la vereda Aguas Claras Rural del municipio de Granada, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.479236 N, -73.86974 W a una altura de 438 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Bueno, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma Lateral y conducción mediante PVC. El uso del agua es Piscícola. Se determina un caudal captado de 11.55 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial, este usuario cuenta con documentación legal faltante por titularidad del predio, por lo cual no es tenida en cuenta dentro del proyecto de distribución del estudio.

Ilustración 2 - 20 Captación Blanca Hernández





En este punto se realizó un aforo de caudal sobre el caño Sardinata.

Ilustración 2 - 21 Aforo Finca Santa Helena



2.2.18. **Usuario 18:** Wilmer Garavito

El señor Wilmer Alejandro Garavito, propietario del predio Finca JR Villa Alejandrina, ubicado en la vereda Aurora del municipio de Lejanías, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.47968 N, -73.877914 W a una altura de 442 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Bueno, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma Lateral y conducción mediante PVC. El uso del agua es Piscícola. Se determina un caudal captado de 6.68 l/s.

Este usuario sí cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Ilustración 2 - 22 Finca JR Villa Alejandrina



2.2.19. **Usuario 19:** Dionisio Pérez

El señor Dionisio Pérez, propietario del predio Pitalito, ubicado en la vereda Aurora del municipio de Lejanías, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.480799 N, -73.889883 W a una altura de 457 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Bueno, el sistema o tipo de captación

es por Bombeo, con tipo de obras de Toma Lateral y conducción mediante Manguera. No se reportan usos específicos del agua. Se determina un caudal captado de 0.39 l/s. El usuario cuenta con captación de agua subterránea por medio de aljibe.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Ilustración 2 - 23 Captación y predio Pitalito



2.2.20. **Usuario 20:** Fernando Pérez

El señor Fernando Antonio Pérez Giraldo, propietario del predio El Recreo, ubicado en la vereda Aurora del municipio de Lejanías, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.481248 N, -73.889701 W a una altura de 458 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Buena, se abastece en el tiempo de verano, el sistema o tipo de captación es por Bombeo, con tipo de obras de Toma Sumergida y conducción mediante Manguera. No se reportan usos específicos del agua. Se determina un caudal captado de 1.53 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Este usuario desiste del proceso de reglamentación, por lo cual firma oficio de desistimiento.

Ilustración 2 - 24 Captación predio El Recreo



2.2.21. **Usuario 22:** Aristóbulo Moreno

El señor Aristóbulo Triana Moreno, propietario del predio Finca El Vergel, ubicado en la vereda Aurora del municipio de Lejanías, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.47926 N, -73.899152 W a una altura de 469 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Bueno, es una derivación de caño sardinata en la Finca Los Alvis desviaron el año, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma Sumergida y conducción mediante PVC. El uso del agua es Piscícola. Se determina un caudal captado de 29.03 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Ilustración 2 - 25 Captación y uso Finca El Vergel



2.2.23. **Usuario 23:** Orlinda Arenas

El señor Orlinda Arenas, propietario del predio sin información, ubicado en la vereda Aguas Claras Rural del municipio de Granada, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.479236 N, -73.86974 W a una altura de 437 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Buena, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma Lateral y conducción mediante PVC. El uso del agua es Piscícola. Se determina un caudal captado de 12.79 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

La señora Orlinda se negó a realizar la encuesta por lo cual no firma y no permite el registro fotográfico en campo, pero ella hace captación del caño sardinata para uso piscícola en tres pozos de pescado, se realiza un aforo aguas arriba antes de la captación del predio.

Este usuario cuenta con documentación legal faltante por titularidad del predio, por lo cual no es tenida en cuenta dentro del proyecto de distribución del estudio.

2.2.24. **Usuario 24:** Gilberto Aroca

El señor Gilberto Gutiérrez Aroca, propietario del predio El Cinay, ubicado en la vereda Aurora del municipio de Lejanías, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.47968 N, -73.877914 W a una altura de 442 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es Bueno, el sistema o tipo de captación es por sin información, con tipo de obras de Toma Lateral y conducción mediante PVC. El uso del agua es Piscícola. Se determina un caudal captado de 17.8 l/s.

Este usuario sí cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial, cuenta con un tanque de medición antes de entrar a los pozos.

Ilustración 2 - 26 Tanque de medición predio El Cinay



2.2.25. **Usuario 25:** Teolila Oliveros Prada

La señora Teolila Oliveros Prada, propietario del predio Naranjitos, ubicado en la vereda El Delirio del municipio de Granada, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.47551 N, -73.841046 W a una altura de 401 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es El afluente es bueno, pero solo se abastece en tiempo de invierno porque y por este sector el caño se seca en tiempo de verano, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma Sumergida y conducción mediante PVC. El uso del agua es Piscícola. Se determina un caudal captado de 2.46 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Se realizó un aforo de caudal sobre el caño Sardinata.

Ilustración 2 - 27 Predio Naranjitos y Aforo de caudal





2.2.26. **Usuario 26:** Luiz Rodríguez

El señor Luiz Arbey Rodríguez Rondón atendió la encuesta y es poseedor del predio El Tesoro, ubicado en la vereda La Unión del municipio de Granada, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.465812 N, -73.792338 W a una altura de 352 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es El afluente que pasa por el predio que se ve en buen estado, el propietario informa que el caño no se seca en verano, el sistema o tipo de captación es por Bombeo, con tipo de obras de Toma Lateral y conducción mediante Manguera. El uso del agua es Doméstico. Se determina un caudal captado de 0.06 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Se realizó medición de aforo de caudal sobre este punto en el caño Sardinata.

Este usuario desiste de participar en el proceso de reglamentación, no entrega documentos legales faltantes por tema de titularidad del predio.

Ilustración 2 - 28 Predio y aforo de caudal predio El Tesoro





2.2.27. **Usuario 27:** Marco Antonio Martínez

El señor Marco Antonio Martínez propietario del predio El Pavo, el permiso de concesión de agua superficial queda a nombre de Marco Andrés Martínez.

Ubicado en la vereda El Crucero del municipio de Granada, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.466857 N, -73.78044 W a una altura de 345 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es buena no se seca el agua del caño, el sistema o tipo de captación es por Bombeo, con tipo de obras de Toma Sumergida y conducción mediante PVC. Los usos del agua son Piscícola y Doméstico. Se determina un caudal captado de 7.26 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Ilustración 2 - 29 Usos predio El Pavo



2.2.28. **Usuario 28:** Acueducto Aguas Claras

La encuesta es atendida por la secretaria la señora Dennis Méndez.

Ubicado en la vereda Aguas Claras del municipio de Granada, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3.479270 N, -73. 869851 W a una altura de 436 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es buena, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma de rejilla mediante una Bocatoma y conducción mediante PVC con longitud de alrededor de 100m. Los usos del agua son únicamente Doméstico del cual suministran agua sin ningún tratamiento previo a 286 usuarios relacionados a 3 personas/vivienda. Se determina un caudal captado de 7.26 l/s.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Al momento del proceso de la presente reglamentación el acueducto es informal, y no se encuentra conformado legalmente, razón por la cual su proceso de conformación legal ha ralentizado el proceso de reglamentación.

Ilustración 2 - 30 Captación de aguas Acueducto de Aguas Claras




2.2.29. **Usuario 29:** Yosel Villada

La encuesta es atendida por Yosel Villada, ubicado en la vereda El Delirio del municipio de Granada, deriva agua del Caño Sardinata según las coordenadas Origen Nacional EPSG9377 3,478718 N, -73,847856 W a una altura de 437 m.s.n.m. En este punto de la captación, el estado de la fuente es buena, el sistema o tipo de captación es por Gravedad, con tipo de obras de Toma lateral mediante conducción PVC con longitud de alrededor de 100m. Los usos del agua son Agrícola y Piscícola.

Este usuario no cuenta con formalización legal de permiso de concesión de agua superficial.

Ilustración 2 - 31 Finca El palmar y usos, Yosel Villada




Este usuario se agregó en una de las últimas visitas realizada por el equipo el día 01/12/25, ya que es identificado como faltante en el proceso y el colaboro con toda la información pertinente para el estudio.

2.3. USUARIOS QUE VIERTEN AL CAÑO SARDINATA

En las jornadas de campo para la identificación en el censo de usuarios registrados con formato RURH, se identificó que 5 usuarios vierten directamente al caño Sardinata, a continuación, se realiza la descripción de estos vertimientos para cada usuario.

2.3.1. Usuario 4: Yilibeth Barreto

El usuario cuenta con sistema de pozo séptico, pero también realiza descargas de vertimientos al caño Sardinata, se descargan por un tubo de 1", con los vertimientos de lavado y aseo de la vivienda.

2.3.2. Usuario 9: Gloria Franco

El usuario cuenta con una zanja de descarga de vertimientos directo al caño Sardinata, principalmente de las actividades de aseo y lavado de la vivienda, cuenta con sistema de pozo séptico parte de la descarga de las aguas son de los pozos de pescado.

Ilustración 2 - 32 Zanja descarga de aguas residuales domésticas



2.3.3. Usuario 10: José Ospina

El usuario afirma realizar vertimientos al caño Sardinata por medio de una tubería de 1", de aguas residuales domésticas, el usuario cuenta con sistema de pozo séptico.

2.3.4. Usuario 11: Andrés Zamora Sarmiento

El usuario realiza vertimientos directamente al caño Sardinata, cuenta con sistema de pozo séptico.

2.3.5. Usuario 12: Wilson Velandia

El usuario cuenta con sistema de pozo séptico, realiza descargas directamente al caño Sardinata.

En el área de estudio, por medio de la información proporcionada por CORMACARENA, se identifican dos vertimientos con permiso al recurso suelo.

Tabla 2 - 4 Usuarios con permiso de vertimientos al recurso suelo en el área de estudio.

	NOMENCLATURA				DATOS BASICOS					
ESTADO	AÑO	TIPO DE TRÁMITE	RESOLUCIÓN A PRÓRROGAR O MODIFICAR	No. EXPEDIENTE CORMACARENA	NOMBRE Y/O ENTIDAD	MUNICIPIO	TIPO DE PERMISO	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y/O PREDIO	No. RADICADO	FECHA DE RADICADO
OTORGADO	2017	NUEVO		3.37.6.017.022	RENE BERNARDO GALINDO CENTRO EDUCATIVO SEDE LA AURORA - ALCALDIA DE LEJANIAS	LEJANIAS	PERMISO DE VERTIMIENTOS	SUELO	013917 DE 26 DE JULIO DE 2017	28/07/17
OTORGADO	2017			3.37.2.6.016.019	BILIALDO TELLO - CENTRO AGROIDUSTRIAL DEL META	GRANADA	CONCESION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y VERTIMIENTOS	SUELO	013785 DEL 23/08/2016	23/08/16

Fuente: CORMACARENA

A partir de la actualización de información y datos de los usuarios, en la tabla 4 se presentan los usuarios que se legalizan y participan en el proceso de reglamentación.

DATOS DEL USUARIO											
No. Usuario	No. Encuesta	Fecha	Tipo de Persona	Nombre Usuario	Vereda/Corregimiento	Municipio	Tipo de tenencia	Tipo de Identificación	No. De Identificación	Dirección de correspondencia	Teléfono
1	Encuesta No. 3 Alexander Alvis	11/9/2025	Natural	Luz Mary López Castaño	Brillante	Lejanías	Propietario	C.C.	40413070	El Porvenir	3123505149
2	Encuesta No. 9 Paola Ruiz	12/9/2025	Natural	Alexander Alvis	Aurora	Lejanías	Propietario	C.C.	17496896	Finca El Danubio	3108305339
3	Encuesta No. 10 Mariano Meneces	12/9/2025	Natural	Mariano Meneces	Brillante	Lejanías	Propietario	C.C.	86003302	Finca Bella Vista	3142328922
4	Encuesta No. 11 Marco Pérez	12/9/2025	Natural	Marco Daniel Pérez Rondón	Aurora	Lejanías	Propietario	C.C.	5828215	Lote A Casa	3223172623
5	Encuesta No. 12 Gloria Franco	14/9/2025	Natural	Marleidy Pedraza	Aguas Claras Rural	Granada	Propietario	C.C.	40434397	Finca El Paraíso	3144315913
6	Encuesta No. 13 José Ospina	14/9/2025	Natural	Julián Andrés Ospina Guzmán	Aguas Claras Rural	Granada	Propietario	C.C.	4572773	Finca El Paraíso	3208826467
7	Encuesta No. 14 Andrés Mora	14/9/2025	Natural	Andrés Mauricio Zamora Sarmiento	Aguas Claras Rural	Granada	Propietario	C.C.	1119948756	Lote 1	3114884699
8	Encuesta No. 15 Wilson Velandia	14/9/2025	Natural	Nelsy Sánchez Cárdenas	Aguas Claras Rural	Granada	Propietario	C.C.	41212800	Guadualito	3118483041
9	Encuesta No. 16 José Romero	14/9/2025	Natural	Fredy Romero Melo	Aguas Claras Rural	Granada	Arrendatario	C.C.	79768555	Los Naranjos	3134954886
10	Encuesta No. 17 Onésimo Muñoz	14/9/2025	Natural	Edwin Cipriano Garzón Rey	Aguas Claras Rural	Granada	Propietario	C.C.	86060827	Finca Porvenir/Grana porvenir Andrea	3138193985
11	Encuesta No. 18 Eider Aroca	14/9/2025	Natural	Eider Aníbal Aroca	Aguas Claras Rural	Granada	Propietario	C.C.	86001992	Finca Sardinata	3214909391
12	Encuesta No. 20 Wilmer Galindo	15/9/2025	Natural	Ilsen García Rivas	Aurora	Lejanías	Propietario	C.C.	40394986	Lote 1	3214169457

DATOS DEL USUARIO											
No. Usuario	No. Encuesta	Fecha	Tipo de Persona	Nombre Usuario	Vereda/Corregimiento	Municipio	Tipo de tenencia	Tipo de Identificación	No. De Identificación	Dirección de correspondencia	Teléfono
13	Encuesta No. 22 Wilmer Garavito	16/9/2025	Natural	Wilmer Alejandro Garavito	Aurora	Lejanías	Propietario	C.C.	86083859	Finca El Brasil	31042 30305
14	Encuesta No. 23 Dionicio Pérez	17/9/2025	Natural	Dionisio Pérez	Aurora	Lejanías	Propietario	C.C.	7490337	Pitalito	31045 92385
15	Encuesta No. 29 Aristóbulo Triana	17/09/2025	Natural	Aristóbulo Triana Moreno	Aurora	Lejanías	Propietario	C.C.	229872	Finca El Vergel	32080 11632
16	Encuesta No. 31 Gilberto Gutiérrez	18/9/2025	Natural	Gilberto Gutiérrez Aroca	Aurora	Lejanías	Propietario	C.C.	7491135	Predio El Cinay	31337 47361
17	Encuesta No. 34 Teolila Oliveros Prada	18/9/2025	Natural	Teolila Oliveros Prada	El Delirio	Granada	Propietario	C.C.	30001784	Naranjitos	31021 56998
18	Encuesta No. 44 Marcos Martínez	19/9/2025	Natural	Marco Andrés Martínez López	El Crucero	Granada	Propietario	C.C.	1120360024	El Pavo	31240 38357
19	Encuesta No. 46 Acueducto Aguas Claras	10/10/2025	Natural	Dennis Méndez	Aguas Claras Centro Poblado	Granada	Secretaria	C.C.	1120379798	Acueducto Aguas Claras	31459 46491
20	Encuesta No. 47 Yosel Villada	10/10/2025	Natural	Yosel Villada Cruz	El Delirio	Granada	Propietario	C.C.	80541195	Finca El Palmar	32037 95407

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

Esta base de datos queda soportaba en el Anexo E. INVENTARIO DE USUARIOS – DEFINITIVOS Base de Datos Censo de Usuarios Reglamentación Caño Sardinata.

A partir de este capítulo se realiza el estudio para el proyecto de distribución es importante tener en cuenta que en la columna nombre usuario, es el nombre a quien queda el permiso de concesión de agua superficial, y son los que se nombrarán en los siguientes documentos técnicos del estudio de reglamentación.

CAPÍTULO 3: OFERTA HÍDRICA Y CAUDAL AMBIENTAL



REGLAMENTACIÓN DEL USO DE LAS AGUAS CAÑO SARDINATA

REALIZAR LA REGLAMENTACIÓN DEL USO DE LAS AGUAS DE CAÑO SARDINATA EN JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE LEJANÍAS Y GRANADA EN EL DEPARTAMENTO DEL META, JURISDICCIÓN DE CORMACARENA

3. OFERTA HÍDRICA TOTAL Y CAUDAL AMBIENTAL

El análisis de la oferta hídrica total y del caudal ambiental constituye un componente fundamental dentro del proceso de reglamentación del uso de las aguas, dado que permite conocer la disponibilidad real del recurso y establecer las condiciones necesarias para garantizar su uso sostenible. La oferta hídrica representa el volumen de agua que el sistema natural puede proporcionar en un período determinado, considerando la dinámica climática, las características fisiográficas de la cuenca y los procesos de regulación hídrica que en ella ocurren. Por su parte, el caudal ambiental se define como la cantidad mínima de agua que debe mantenerse en el cauce para preservar las funciones ecológicas, los hábitats acuáticos y los servicios ecosistémicos asociados.

En el marco del estudio de reglamentación del uso de las aguas del caño Sardinata, ubicado en los municipios de Granada y Lejanías (Meta), la estimación de la oferta hídrica y del caudal ambiental se desarrolla con base en información hidro climática e hidrológica proveniente de estaciones del IDEAM y otras fuentes oficiales. El análisis se apoya en metodologías reconocidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008) y en las guías técnicas propuestas por el IDEAM para la escala de trabajo, asegurando la consistencia y validez de los resultados.

El presente capítulo describe el tratamiento y análisis de la información hidro climática, la determinación de la variabilidad climática intra e interanual, la estimación del balance hidro climático de largo plazo, la implementación del modelo lluvia–escorrentía, y la generación de series de caudales medios diarios. Asimismo, se presentan los resultados de la oferta hídrica total a nivel de microcuenca y puntos de monitoreo, diferenciando las condiciones correspondientes a años hidrológicos normales y secos.

Finalmente, se expone la metodología y los resultados obtenidos para la estimación del caudal ambiental, a partir de la aplicación de diferentes enfoques complementarios —entre ellos, el caudal ecológico, el caudal asociado al índice de retención y regulación hídrica (IRH) y los índices estadísticos 7Q10 y Q95, con el propósito de definir los caudales mínimos requeridos para el mantenimiento de la integridad ecológica del caño Sardinata y sus tributarios principales.

Para ello fue necesario la realización de monitoreo en campo, definiendo puntos de aforo de caudal a lo largo del caño Sardinata, en la tabla 3-1 se identifica un total de 24 puntos que se tuvieron en cuenta, lugar de aforo y coordenadas, el detalle de la medición y registro de campo se encuentra dentro de los Anexos Técnicos del presente documento.

Tabla 3 - 1 Puntos de aforo de caudal caño Sardinata

Fuente	N°	Lugar de Aforo	Coordenadas		Altura (m.s.n.m.)
			Longitud (N)	Latitud (O)	
Caño Sardinata	1	Nacimiento del caño Sardinata	3,481848	-73,918231	514
	2	La unión del caño Sardinata y Sardinatica	3,479851	-73,91537	503
	3	Antes de la captación de Alex Alvis	3,478	-73,912	479
	4	Aguas Arriba de la señora Yolanda López	3,478854	-73,908117	508
	5	Después de la descarga de los pozos de Don Alex	3,480035	-73,914162	508
	6	Antes de la captación de la señora Nubia	3,477543	-73,907232	486
	7	Aguas abajo de la captación de Doña nubia			485
	8	Finca Danubio antes de la captación de Don Alex	3,47813	-73,903057	484
	9	Antes de la captación de la finca Bella Vista	3,477964	-73,902766	501
	10	Antes de la captación del Lote A de Marcos	3,477635	-73,897383	445
	11	Antes de la Captación finca El paraíso de la señora Gloria Franco y el señor José Oscar Ospina	3,47979	-73,861295	476
	12	Aguas arriba de la captación de Andrés Mora Lote 1	3,479818	-73,860751	438
	13	Aguas arriba de la captación Finca Porvenir Onésimo Muñoz	3,481118	-73,860333	441
	14	Aguas arriba de la captación finca Los Naranjos José Alejandro Romero	3,480172	-73,866752	438
	15	Aguas arriba de la captación de la finca Guadualito del señor Wilson Velandia	3,479932	-73,865361	436
	16	Aguas arriba de la captación finca Sardinata Eider Aníbal Aroca	3,479256	-73,86974	452

Fuente	N°	Lugar de Aforo	Coordenadas		Altura (m.s.n.m.)
			Longitud (N)	Latitud (O)	
	17	Aguas arriba de la captación finca Santa Helena de la señora Blanca Nidia Hernández y la señora Orlinda Arenas, también está el acueducto de Aguas Claras	3,479236	-73,86974	468
	18	Aguas arriba de la captación de la finca Palo Alto de don Gilberto Gutiérrez y el Lote 1 de Wilmer Galindo de continuidad a ellos está la captación de la finca JR Villa Alejandría del señor Alejandro Garavito	3,47968	-73,877914	360
	19	Aguas arriba de la captación de la finca Pitalito del señor Dionicio Pérez	3,480799	-73,889883	358
	20	Aguas arriba de la captación de la finca Naranjitos de la señora Teolinda Prada	3,47551	-73,841096	321
	21	Aguas arriba de la captación con motobomba para el consumo humano en la finca El Tesoro del señor Luis Arbey Rodríguez	3,465812	-73,792338	358
	22	Aguas arriba de la captación del predio El Pavo del señor Marcos Martínez	3,466854	-73,78044	321
	23	Desembocadura del caño Sardinata	3,470697	-73,72088	313
	24	Aguas abajo donde se unen los dos caños Sardinata y el Taparo	3,470655	-73720760	317

Fuente: Consorcio Sardinata 2025

Esta información es la base para relacionar los datos obtenidos en el modelo de lluvia escorrentía de acuerdo con la información hidrológica existente, el análisis de variabilidad climática y caudal ecológico, con el fin de determinar la oferta hídrica total.

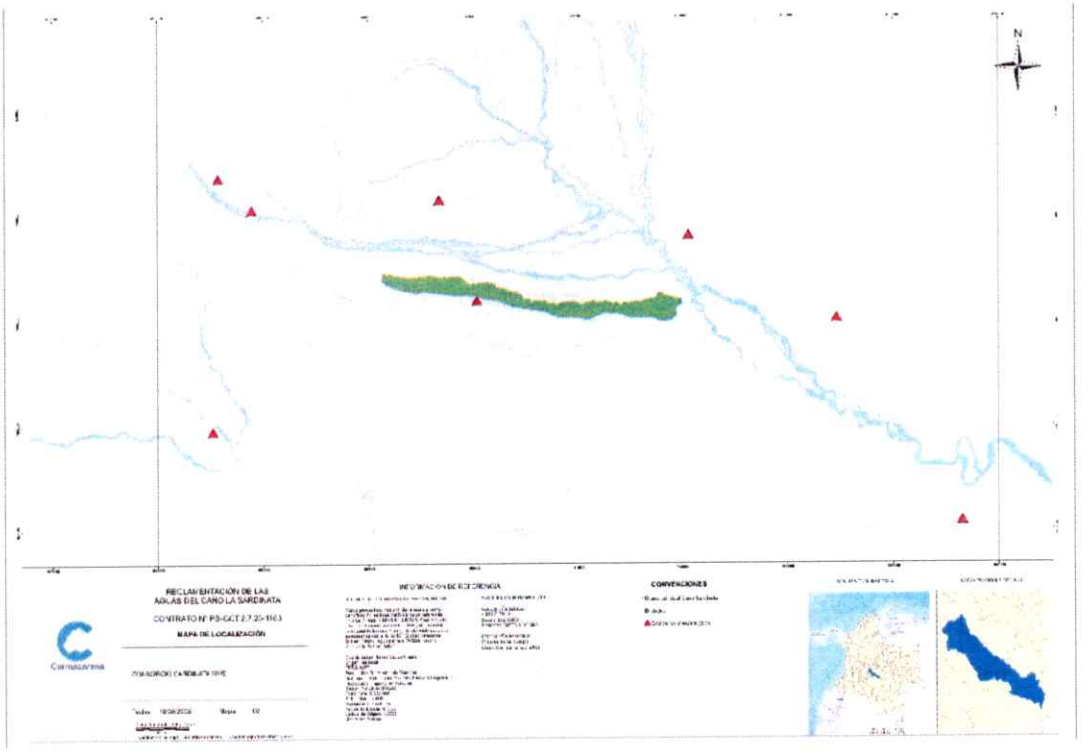
3.1. CLIMATOLOGÍA

Tomando como base la localización de la Microcuenca del Caño Sardinata y la información meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se seleccionaron las estaciones meteorológicas circundantes al área de estudio, las cuales permitieron identificar diversas variables climatológicas que influyen en el comportamiento hidrológico de la cuenca.

3.1.1. Estaciones meteorológicas circundantes

Se identificaron 28 estaciones meteorológicas circundantes al área de la microcuenca del Caño Sardinata (Figura 3 - 1).

Figura 3 - 1 Estaciones meteorológicas circundantes



Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo software ArcGIS®

Las cuales aportan información de variables climatológicas fundamentales como precipitación total, precipitación máxima en 24 horas, temperatura media, humedad relativa, evaporación, brillo solar, radiación solar, así como dirección y velocidad del

viento. Esta red de estaciones cumple con la densidad mínima recomendada por el IDEAM, garantizando una adecuada representación espacial de la variabilidad climática. La información recopilada fue sometida a un proceso integral de control de calidad, que incluyó la identificación y depuración de datos anómalos, análisis de completitud y evaluación de consistencia temporal, con el fin de reducir la incertidumbre asociada a las series y asegurar la confiabilidad de los insumos empleados en la modelación hidrológica.

3.1.2. Detección de datos anómalos

Un dato anómalo o atípico es una observación que se desvía notablemente de las otras observaciones que conforman el conjunto estadístico (NIST 2013). La identificación de dichos potenciales valores atípicos radica en (V. Sanchez,2016):

- Un valor atípico puede indicar errores en los datos.
- En algunos casos, puede que no sea posible determinar los valores atípicos, ya que estos pueden deberse a la variación aleatoria del proceso, o en dado caso, pueden indicar algo científicamente interesante. En tal caso, el dato atípico no deberá eliminarse, pero deberán utilizarse técnicas estadísticas más robustas, en particular cuando los datos contienen valores extremos.

Un número de pruebas para la detección de datos anómalos puede ser encontrada en la literatura, dichas pruebas pueden ser agrupadas de acuerdo con la distribución que siguen los datos pero que en general siguen el comportamiento normal (V. Sanchez,2016). En el presente proyecto se ejecutará la prueba de Grubss, la cual siguió el siguiente procedimiento:

- Se disponen los datos en orden de menor a mayor.
- Se decide si el menor o el más grande es susceptible de ser discrepante.
- Se estima la desviación estándar "s" de todos los datos.
- Se selecciona el riesgo que se quiere tomar para un falso rechazo.
- Se calcula el valor correspondiente y se compara con el valor de tablas. Si el valor calculado es mayor que el valor tabulado se puede rechazar ese dato con el riesgo asumido.

3.1.2.1. Precipitación total

A través de la prueba de Grubbs se determinó que la variable de precipitación total presenta 5 estaciones con valores atípicos en las estaciones analizadas. Una vez verificado el cumplimiento en el análisis de completitud, los datos serán ajustados mediante un modelo polinómico de segundo grado y sometidos a una prueba de homogeneidad.

Tabla 3 - 2 Datos anómalos Precipitación total

Estación		G (Valor observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32075040	LA HOLANDA	3.01	3.77	0.05	NO
32060060	CALIME	3.11	3.80	0.05	NO
32070010	CAMPO ALEGRE	4.16	3.80	0.05	SI
35010060	EL TORO	3.61	3.79	0.05	NO
32070060	FUENTE DE ORO	4.42	3.78	0.05	SI
35010070	GUAMAL	2.55	3.80	0.05	NO
32060090	LEJANIAS CASTILLO	3.18	3.69	0.05	NO
32070030	LOS MICOS	4.05	3.74	0.05	SI
35010020	ACACIAS	2.72	3.82	0.05	NO
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	2.74	3.82	0.05	NO
35015050	BARBASCAL	2.68	3.68	0.05	NO
32020020	LA URIBE LA	4.16	3.78	0.05	SI
32070120	MESA DE FERNANDEZ	3.80	3.78	0.05	SI
32070110	AGUAS CLARAS	3.33	3.81	0.05	NO
32070020	CAÑO BLANCO	3.23	3.80	0.05	NO
35010040	CAÑO HONDO	2.99	3.80	0.05	NO
32060020	MESA DE YAMANES	3.40	3.79	0.05	NO
32075050	MESETAS	3.44	3.78	0.05	NO
32070090	PEÑAS BLANCAS	3.46	3.76	0.05	NO
32075030	VISTA HERMOSA	3.19	3.72	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

Se aplicó la prueba de Grubbs a los registros de las estaciones y, tras la correspondiente corrección de los valores atípicos identificados, se constató que actualmente no persisten datos anómalos en la serie.

Tabla 3 - 3. Datos anómalos corregidos de Precipitación total

Estación		G (Valor observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32075040	LA HOLANDA	3.01	3.77	0.05	NO
32060060	CALIME	3.11	3.80	0.05	NO
32070010	CAMPO ALEGRE	3.49	3.80	0.05	NO
35010060	EL TORO	3.61	3.79	0.05	NO
32070060	FUENTE DE ORO	3.75	3.78	0.05	NO
35010070	GUAMAL	2.55	3.80	0.05	NO
32060090	LEJANIAS CASTILLO	3.18	3.69	0.05	NO
32070030	LOS MICOS	3.14	3.74	0.05	NO
35010020	ACACIAS	2.72	3.82	0.05	NO
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	2.74	3.82	0.05	NO
35015050	BARBASCAL	2.68	3.68	0.05	NO
32020020	LA URIBE LA	3.77	3.78	0.05	NO
32070120	MESA DE FERNANDEZ	3.24	3.78	0.05	NO
32070110	AGUAS CLARAS	3.33	3.81	0.05	NO
32070020	CAÑO BLANCO	3.23	3.80	0.05	NO
35010040	CAÑO HONDO	2.99	3.80	0.05	NO
32060020	MESA DE YAMANES	3.40	3.79	0.05	NO
32075050	MESETAS	3.44	3.78	0.05	NO
32070090	PEÑAS BLANCAS	3.46	3.76	0.05	NO
32075030	VISTA HERMOSA	3.19	3.72	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.2. Precipitación máx. 24 horas

Con la aplicación de la prueba de Grubbs se detectaron datos anómalos en la variable de precipitación máxima en 24 horas en nueve estaciones. Posteriormente, tras el análisis de completitud, dichos registros serán ajustados mediante un polinomio de segundo grado y evaluados con una prueba de homogeneidad.

Tabla 3 - 4. Datos anómalos Precipitación máx. 24 horas

Estación		G (Valor observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35010020	ACACIAS	2.5309	3.7602	0.05	NO
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	3.3515	3.7635	0.05	NO
32060060	CALIME	4.0753	3.7578	0.05	SI
32070010	CAMPO ALEGRE	3.0876	3.7561	0.05	NO

Estación		G (Valor observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32070060	FUENTE DE ORO	5.3319	3.7495	0.05	SI
32070030	LOS MICOS	4.0167	3.712	0.05	SI
32075040	LA HOLANDA	4.986	3.7586	0.05	SI
32070110	AGUAS CLARAS	5.1545	3.7659	0.05	SI
35010060	EL TORO	2.4721	3.7594	0.05	NO
32060090	LEJANIAS CASTILLO	3.8571	3.6406	0.05	SI
32060020	MESA DE YAMANES	3.4844	3.7452	0.05	NO
32070020	CAÑO BLANCO	3.4871	3.7666	0.05	NO
35010040	CAÑO HONDO	3.812	3.7643	0.05	SI
35025110	LA LIBERTAD - AUT	6.4648	3.7537	0.05	SI
32020020	LA URIBE LA	4.1313	3.7553	0.05	SI
32070120	MESA DE FERNANDEZ	3.4051	3.7594	0.05	NO
32075050	MESETAS	3.4207	3.7452	0.05	NO
32070090	PEÑAS BLANCAS	2.9361	3.7207	0.05	NO
32075030	VISTA HERMOSA	3.5071	3.713	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

Tras aplicar la prueba de Grubbs para el análisis de valores extremos, se depuraron las observaciones atípicas, garantizando que la información de las estaciones mantuviera criterios de consistencia estadística.

Tabla 3 - 5. Datos anómalos corregidos de Precipitación máx. 24 horas

Estación		G (Valor observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35010020	ACACIAS	2.5309	3.7602	0.05	NO
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	3.3515	3.7635	0.05	NO
32060060	CALIME	2.653	3.757	0.05	NO
32070010	CAMPO ALEGRE	3.0876	3.7561	0.05	NO
32070060	FUENTE DE ORO	3.6501	3.7478	0.05	NO
32070030	LOS MICOS	3.3901	3.711	0.05	NO
32075040	LA HOLANDA	3.4618	3.757	0.05	NO
32070110	AGUAS CLARAS	3.2057	3.7651	0.05	NO
35010060	EL TORO	2.4721	3.7594	0.05	NO
32060090	LEJANIAS CASTILLO	2.58	3.6393	0.05	NO
32060020	MESA DE YAMANES	3.4844	3.7452	0.05	NO
32070020	CAÑO BLANCO	3.4871	3.7666	0.05	NO

Estación		G (Valor observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35010040	CAÑO HONDO	2.8124	3.7635	0.05	NO
35025110	LA LIBERTAD - AUT	3.2961	3.7528	0.05	NO
32020020	LA URIBE LA	2.9114	3.7537	0.05	NO
32070120	MESA DE FERNANDEZ	3.4051	3.7594	0.05	NO
32075050	MESETAS	3.4207	3.7452	0.05	NO
32070090	PEÑAS BLANCAS	2.9361	3.7207	0.05	NO
32075030	VISTA HERMOSA	3.5071	3.713	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.3. Precipitación diaria

La aplicación de la prueba de Grubbs permitió identificar datos anómalos en la variable de precipitación diaria en tres estaciones. Posteriormente, tras el análisis de completitud, estos registros serán ajustados mediante un polinomio de segundo grado y evaluados mediante una prueba de homogeneidad.

Tabla 3 - 6. Datos anómalos Precipitación diaria

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32060020	MESA DE YAMANES	7.3296	4.4675	0.05	SI
32070110	AGUAS CLARAS	13.4127	4.6145	0.05	SI
32075040	LA HOLANDA	11.1128	4.4297	0.05	SI

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

Con la aplicación de la prueba de Grubbs y la posterior corrección de los registros anómalos, se logró depurar la base de datos, eliminando los valores atípicos presentes en las estaciones.

Tabla 3 - 7. Datos anómalos Precipitación diaria

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32060020	MESA DE YAMANES	4.3495	4.4655	0.05	NO
32070110	AGUAS CLARAS	4.5834	4.61	0.05	NO
32075040	LA HOLANDA	4.4193	4.4267	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.4. *Temperatura media*

La aplicación de la prueba estadística de Grubbs evidenció la presencia de tres estaciones con datos anómalos en la serie de temperatura media. Una vez superado el análisis de completitud, estos registros serán ajustados mediante un polinomio de segundo grado y sometidos a una prueba de homogeneidad.

Tabla 3 - 8. Datos anómalos Temperatura media

Estación		G (Valor observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32075030	VISTA HERMOSA	3.8295	3.7337	0.05	SI
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	3.6978	3.8165	0.05	NO
32075050	MESETAS	3.3916	3.8039	0.05	NO
35015050	BARBASCAL	3.3639	3.6805	0.05	NO
32065010	LEJANIAS	3.8483	3.6946	0.05	SI
32075080	PUERTO LLERAS	4.0688	3.6816	0.05	SI
32075040	LA HOLANDA	3.0564	3.714	0.05	NO
35025110	LA LIBERTAD - AUT	3.2664	3.808	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

La aplicación de la prueba de Grubbs, junto con la rectificación de los registros anómalos, permitió depurar la base de datos y eliminar la presencia de valores atípicos en las estaciones.

Tabla 3 - 9. Datos anómalos corregidos de Temperatura media

Estación		G (Valor observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32075030	VISTA HERMOSA	3.0192	3.7319	0.05	NO
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	3.6978	3.8165	0.05	NO
32075050	MESETAS	3.3916	3.8039	0.05	NO
35015050	BARBASCAL	3.3639	3.6805	0.05	NO
32065010	LEJANIAS	3.2972	3.6936	0.05	NO
32075080	PUERTO LLERAS	3.528	3.6805	0.05	NO
32075040	LA HOLANDA	3.0564	3.714	0.05	NO
35025110	LA LIBERTAD - AUT	3.2664	3.808	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.5. *Humedad relativa*

La aplicación de la prueba de Grubbs permitió identificar cuatro estaciones con datos atípicos en la variable de humedad relativa. Posteriormente, tras el análisis de completitud, los registros serán ajustados mediante un polinomio de segundo grado y evaluados en cuanto a la homogeneidad de la serie.

Tabla 3 - 10. Datos anómalos Humedad relativa

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32065010	LEJANIAS	4.9173	3.7178	0.05	SI
32075030	VISTA HERMOSA	4.0286	3.7319	0.05	SI
32075040	LA HOLANDA	3.569	3.779	0.05	NO
32075050	MESETAS	3.4004	3.8247	0.05	NO
32075080	PUERTO LLERAS	2.4579	3.6838	0.05	NO
35025110	LA LIBERTAD - AUT	4.288	3.8404	0.05	SI
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	4.1892	3.8647	0.05	SI

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

Una vez identificados los valores extremos a través de la prueba de Grubbs, se efectuó la correspondiente corrección, garantizando que las estaciones no presenten actualmente registros anómalos.

Tabla 3 - 11. Datos anómalos corregidos de Humedad relativa

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32065010	LEJANIAS	4.9173	3.7178	0.05	NO
32075030	VISTA HERMOSA	4.0286	3.7319	0.05	NO
32075040	LA HOLANDA	3.569	3.779	0.05	NO
32075050	MESETAS	3.4004	3.8247	0.05	NO
32075080	PUERTO LLERAS	2.4579	3.6838	0.05	NO
35025110	LA LIBERTAD - AUT	4.288	3.8404	0.05	NO
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	4.1892	3.8647	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.6. *Evaporación*

La aplicación de la prueba de Grubbs a la variable de evaporación evidenció que seis estaciones no presentan registros atípicos dentro de la serie analizada. Este resultado indica

que los datos disponibles en dichas estaciones mantienen un comportamiento estadísticamente consistente, lo que aporta mayor confiabilidad al proceso de análisis posterior y reduce la necesidad de aplicar procedimientos de corrección o depuración adicional.

Tabla 3 - 12. Datos anómalos Evaporación

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32065010	LEJANIAS	2.2695	3.7391	0.05	NO
32075030	VISTA HERMOSA	2.8239	3.7586	0.05	NO
32075050	MESETAS	1.9271	3.8159	0.05	NO
32075080	PUERTO LLERAS	1.8296	3.71	0.05	NO
35015050	BARBASCAL	2.3585	3.7291	0.05	NO
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	2.7859	3.903	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.7. Brillo solar

Según los resultados de la prueba de Grubbs, la variable de brillo solar no mostró registros atípicos en las estaciones evaluadas, lo que sugiere un comportamiento homogéneo y consistente en la información analizada.

Tabla 3 - 13. Datos anómalos Brillo solar

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	3.6816	3.7635	0.05	NO
35025110	LA LIBERTAD - AUT	2.6213	3.7586	0.05	NO
32075050	MESETA	3.6432	3.7226	0.05	NO
32075040	LA HOLANDA	3.5051	3.7443	0.05	NO
32075080	PUERTO LLERAS	3.0519	3.7019	0.05	NO
32075030	VISTA HERMOSA	3.0054	3.6978	0.05	NO
35015050	BARBASCAL	3.2327	3.7029	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.8. Radiación solar

La aplicación de la prueba de Grubbs evidenció la presencia de registros atípicos en tres estaciones para la variable de radiación solar. Posteriormente, tras el análisis de completitud, los datos serán ajustados mediante una función polinómica de segundo

grado y sometidos a una prueba de homogeneidad con el fin de verificar la uniformidad estadística de la serie.

Tabla 3 - 14. Datos anómalos Radiación solar

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35025110	LA LIBERTAD - AUT	5.8617	3.2357	0.05	SI
35185010	LA PALOMERA - AUT	5.3407	3.4928	0.05	SI
35035110	SALINAS DE UPIN - AUT	2.9542	3.5106	0.05	NO
35035100	ICA VILLAVICENCIO - AUT	7.5569	3.4223	0.05	SI

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

Se desarrolló un proceso de evaluación y corrección estadística basado en la prueba de Grubbs, lo cual permitió depurar los datos y confirmar la ausencia de anomalías en las series temporales de las estaciones.

Tabla 3 - 15. Datos anómalos corregidos de Radiación solar

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35025110	LA LIBERTAD - AUT	2.4255	3.23	0.05	NO
35185010	LA PALOMERA - AUT	2.7041	3.4882	0.05	NO
35035110	SALINAS DE UPIN - AUT	2.9542	3.5106	0.05	NO
35035100	ICA VILLAVICENCIO - AUT	2.9611	3.4163	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.9. Dirección del viento

De acuerdo con la prueba de Grubbs, la variable de dirección del viento presentó registros atípicos en dos estaciones analizadas. Una vez concluido el análisis de completitud, estos datos serán ajustados mediante una función polinómica de segundo grado y posteriormente evaluados con una prueba de homogeneidad, con el fin de garantizar la uniformidad estadística de la serie.

Tabla 3 - 16. Datos anómalos de Dirección del viento

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	4.6554	3.7767	0.05	SI
35025110	LA LIBERTAD - AUT	3.7528	3.6714	0.05	SI

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

Se desarrolló un proceso de evaluación y corrección estadística basado en la prueba de Grubbs, lo cual permitió depurar los datos y confirmar la ausencia de anomalías en las series temporales de las estaciones.

Tabla 3 - 17. Datos anómalos corregidos de Dirección del viento

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	4.6554	3.7767	0.05	NO
35025110	LA LIBERTAD - AUT	3.7528	3.6714	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.10. Velocidad del viento

La variable de velocidad del viento no presenta estaciones con registros atípicos en las estaciones analizadas, de acuerdo con la prueba de Grubbs. Una vez completado el análisis de completitud, se ajustarán los datos mediante una función polinómica de segundo grado y se aplicará una prueba de homogeneidad para verificar la uniformidad estadística de la serie.

Tabla 3 - 18. Datos anómalos Velocidad del viento

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	2.9694	3.7752	0.05	NO
35025110	LA LIBERTAD - AUT	2.7857	3.6714	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.11. Caudales medios mensuales

La variable de caudal medio mensual presentó valores atípicos en la estación IDEAM Puerto Rico, identificados a través de la prueba de Grubbs, herramienta estadística que permite detectar datos extremos en una serie bajo el supuesto de normalidad. Estos registros, de no ser tratados de manera adecuada, podrían generar sesgos o distorsiones en el análisis hidrológico.

Tabla 3 - 19. Datos anómalos de Caudales medios

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32077080	PUERTO RICO	2.9959	3.8113	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.2.12. Caudales medios diarios

La aplicación de la prueba de Grubbs no evidenció la presencia de datos anómalos en la variable de caudales medios diarios, lo que sugiere un comportamiento homogéneo y consistente en la información analizada.

Tabla 3 - 20. Datos anómalos Precipitación máx. 24 horas

Estación		G (Observado)	G (Valor crítico)	Alfa	Datos anómalos
32077080	PUERTO RICO	4.0728	4.6126	0.05	NO

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.3. Análisis de consistencia

Una vez realizado el ajuste de los datos anómalos de las 10 variables usadas en el presente estudio se realiza el análisis de consistencia, el cual sigue las recomendaciones de la OMM expuestas en el documento "Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas". Las directrices implementadas en el análisis climatológico estipulan que solo se deben tomar series que presenten una longitud mínima de 30 años y que en ese periodo de tiempo posean un registro de más del 80% de los datos.

3.1.3.1. *Precipitación total*

En el área circundante a la microcuenca del Caño Sardinata se identifican 20 estaciones meteorológicas que realizan el monitoreo constante de precipitación total, de las cuales, 19 estaciones cumplen con los requerimientos estipulados por la OMM (Tabla 3 - 21).

Tabla 3 - 21. Análisis de consistencia y completitud de precipitación total

	Precipitación total								
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	32075040	LA HOLANDA	ene-86	sep-16	369	9	2.4	97.6	Cumple
2	32060060	CALIME	oct-90	ene-24	400	9	2.3	97.8	Cumple
3	32070010	CAMPO ALEGRE	oct-90	dic-23	399	4	1.0	99.0	Cumple
4	35010060	EL TORO	oct-90	ene-24	400	17	4.3	95.8	Cumple
5	32070060	FUENTE DE ORO	oct-90	ene-24	400	27	6.8	93.3	Cumple
6	35010070	GUAMAL	nov-90	ene-24	400	11	2.8	97.3	Cumple
7	32060090	LEJANIAS CASTILLO	oct-90	ene-24	400	130	32.5	67.5	No Cumple
8	32070030	LOS MICOS	nov-90	dic-23	399	79	19.8	80.2	Cumple
9	35010020	ACACIAS	ene-90	jul-25	427	6	1.4	98.6	Cumple
10	35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	ene-90	jul-25	427	0	0.0	100.0	Cumple
11	35015050	BARBASCAL	may-92	abr-15	304	42	13.8	86.2	Cumple
12	32020020	LA URIBE LA	nov-93	may-25	425	62	14.6	85.4	Cumple
13	32070120	MESA DE FERNANDEZ	nov-93	may-25	425	61	14.4	85.6	Cumple
14	32070110	AGUAS CLARAS	ene-90	ene-24	409	6	1.5	98.5	Cumple
15	32070020	CAÑO BLANCO	ene-90	ene-24	409	11	2.7	97.3	Cumple
16	35010040	CAÑO HONDO	ene-90	ene-24	409	9	2.2	97.8	Cumple
17	32060020	MESA DE YAMANES	ene-90	nov-23	408	28	6.9	93.1	Cumple
18	32075050	MESETAS	ene-90	nov-23	408	40	9.8	90.2	Cumple
19	32070090	PEÑAS BLANCAS	ene-90	nov-23	408	72	17.6	82.4	Cumple
20	32075030	VISTA HERMOSA	dic-87	dic-17	361	69	19.1	80.9	Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.2. Precipitación máxima en 24 horas

En la zona circundante a la microcuenca del Caño Sardinata se identificaron 19 estaciones meteorológicas que monitoreaban los datos de precipitación máxima en 24 horas, sin embargo, posterior al análisis de consistencia y completitud,18 estaciones cumplen con los requerimientos estipulados por la OMM (Tabla 3 - 22).

Tabla 3 - 22. Análisis de consistencia y completitud de precipitación máxima en 24 horas

Precipitación Máxima en 24 horas									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	35010020	ACACIAS	mar-95	ene-24	347	5	1.4	98.6	Cumple
2	35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	mar-95	dic-23	346	0	0.0	100.0	Cumple
3	32060060	CALIME	mar-95	dic-23	346	7	2.0	98.0	Cumple
4	32070010	CAMPO ALEGRE	mar-95	dic-23	346	9	2.6	97.4	Cumple
5	32070060	FUENTE DE ORO	mar-95	dic-23	346	17	4.9	95.1	Cumple
6	32070030	LOS MICOS	mar-95	ene-24	347	59	17.0	83.0	Cumple
7	32075040	LA HOLANDA	sep-87	sep-16	349	9	2.6	97.4	Cumple
8	32070110	AGUAS CLARAS	ene-94	ene-23	349	0	0.0	100.0	Cumple
9	35010060	EL TORO	ene-94	ene-23	349	8	2.3	97.7	Cumple
10	32060090	LEJANIAS CASTILLO	ene-94	ene-23	349	124	35.5	64.5	No Cumple
11	32060020	MESA DE YAMANES	ene-94	ene-23	349	25	7.2	92.8	Cumple
12	32070020	CAÑO BLANCO	ago-94	ene-24	354	4	1.1	98.9	Cumple
13	35010040	CAÑO HONDO	ago-94	dic-23	353	6	1.7	98.3	Cumple
14	35025110	LA LIBERTAD - AUT	ene-96	dic-23	336	2	0.6	99.4	Cumple
15	32020020	LA URIBE LA	ago-94	ene-24	354	18	5.1	94.9	Cumple
16	32070120	MESA DE FERNANDEZ	sep-94	dic-23	353	12	3.4	96.6	Cumple
17	32075050	MESETAS	ago-94	dic-23	353	29	8.2	91.8	Cumple
18	32070090	PEÑAS BLANCAS	ago-94	dic-23	353	56	15.9	84.1	Cumple
19	32075030	VISTA HERMOSA	dic-88	ene-18	350	61	17.4	82.6	Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, *apoyo IDEAM*

3.1.3.3. *Precipitación diaria*

Tras el análisis de consistencia y completitud de la variable de precipitación media diaria, se seleccionaron las tres estaciones más cercanas a la microcuenca. De estas, únicamente 1 cumple con un periodo de registro superior a 30 años y presenta un porcentaje de completitud mayor al 80% (Tabla 3 - 23).

Tabla 3 - 23. Análisis de consistencia y completitud de temperatura media

	Precipitación diaria								
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	32060020	MESA DE YAMANES	ene-90	ago-25	12996	6579	50.6	49.4	No Cumple
2	32070110	AGUAS CLARAS	ene-90	ago-25	12997	195	1.5	98.5	Cumple
3	32075040	LA HOLANDA	ene-90	ago-25	12996	7602	58.5	41.5	No Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.4. *Temperatura media*

Posterior al análisis de consistencia y completitud de la variable de temperatura media, se identificaron 8 estaciones, de las cuales todas cumplen con un periodo mayor a 30 años y un porcentaje de completitud de datos mayor al 80% (Tabla 3 - 24).

Tabla 3 - 24. Análisis de consistencia y completitud de temperatura media

	Temperatura Media								
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	32075030	VISTA HERMOSA	ene-85	ene-15	361	50	13.9	86.1	Cumple
2	35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	ene-90	feb-25	422	2	0.5	99.5	Cumple
3	32075050	MESETAS	feb-90	feb-25	421	20	4.8	95.2	Cumple
4	35015050	BARBASCAL	may-92	abr-25	276	18	6.5	93.5	Cumple
5	32065010	LEJANIAS	may-92	abr-25	276	5	1.8	98.2	Cumple
6	32075080	PUERTO LLERAS	may-92	abr-25	276	17	6.2	93.8	Cumple
7	32075040	LA HOLANDA	ene-90	dic-15	312	22	7.1	92.9	Cumple
8	35025110	LA LIBERTAD - AUT	ene-90	ene-25	421	14	3.3	96.7	Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.5. *Humedad relativa*

La variable de humedad relativa cuenta con siete estaciones meteorológicas. Tras el análisis de consistencia y completitud, se identificó que todas ellas cumplen con los requerimientos establecidos por la OMM (Tabla 3 - 25).

Tabla 3 - 25. Análisis de consistencia y completitud de humedad relativa

Humedad relativa									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	32065010	LEJANIAS	abr-89	oct-15	319	0	0.0	100.0	Cumple
2	32075030	VISTA HERMOSA	ene-83	jun-15	390	0	0.0	100.0	Cumple
3	32075040	LA HOLANDA	sep-82	mar-00	400	0	0.0	100.0	Cumple
4	32075050	MESETAS	abr-84	jun-25	495	0	0.0	100.0	Cumple
5	32075080	PUERTO LLERAS	feb-91	may-15	292	0	0.0	100.0	Cumple
6	35025110	LA LIBERTAD - AUT	ago-82	ago-25	517	0	0.0	100.0	Cumple
7	35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	ene-83	ago-25	512	0	0.0	100.0	Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.6. *Evaporación*

La variable de evaporación cuenta con seis estaciones meteorológicas. Tras el análisis de consistencia y completitud, se determinó que todas ellas cumplen con los requerimientos establecidos por la OMM (Tabla 3 - 26).

Tabla 3 - 26. Análisis de consistencia y completitud de evaporación

Evaporación									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	32065010	LEJANIAS	abr-89	ago-15	317	0	0.0	100.0	Cumple
2	32075030	VISTA HERMOSA	sep-85	dic-13	340	0	0.0	100.0	Cumple
3	32075050	MESETAS	dic-83	oct-18	419	0	0.0	100.0	Cumple
4	32075080	PUERTO LLERAS	ago-91	may-15	286	0	0.0	100.0	Cumple
5	35015050	BARBASCAL	may-92	oct-17	306	0	0.0	100.0	Cumple
6	35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	abr-77	sep-25	582	0	0.0	100.0	Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.7. *Brillo solar*

La variable de brillo solar dispone de siete estaciones meteorológicas. Tras el análisis de consistencia y completitud, se identificó que todas ellas cumplen con los requerimientos establecidos por la OMM (Tabla 3 - 27).

Tabla 3 - 27. Análisis de consistencia y completitud de brillo solar

Brillo solar									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	Ene-95	Ene-24	349	3	0.9	99.1	Cumple
2	35025110	LA LIBERTAD - AUT	Feb-95	Feb-24	348	8	2.3	97.7	Cumple
3	32075050	MESETAS	Ene-95	Dic-23	348	49	14.1	85.9	Cumple
4	32075040	LA HOLANDA	Ene-86	Mar-15	351	28	8.0	92.0	Cumple
5	32075080	PUERTO LLERAS	Oct-90	Mar-15	294	16	5.4	94.6	Cumple
6	32075030	VISTA HERMOSA	Ene-86	Mar-15	351	77	21.9	78.1	Cumple
7	35015050	BARBASCAL	May-92	Ene-17	297	18	6.1	93.9	Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, Apoyo IDEAM

3.1.3.8. *Radiación solar*

La variable de radiación solar dispone de cuatro estaciones meteorológicas; sin embargo, tras el análisis de consistencia y completitud, se determinó que únicamente dos de ellas cumplen con los requerimientos establecidos por la OMM (Tabla 3 - 28).

Tabla 3 - 28. Análisis de consistencia y completitud de radiación solar

Radiación solar									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	35025110	LA LIBERTAD - AUT	ene-91	jul-18	87	21	24.1	75.9	No Cumple
2	35185010	LA PALOMERA - AUT	ene-91	oct-22	202	63	31.2	68.8	Cumple
3	35035110	SALINAS DE UPIN - AUT	ene-91	oct-22	166	19	11.4	88.6	Cumple
4	35035100	ICA VILLAVICENCIO - AUT	ene-91	oct-16	116	4	3.4	96.6	No Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.9. *Dirección del viento*

La variable de dirección del viento contaba inicialmente con dos estaciones meteorológicas; no obstante, tras el análisis de consistencia y completitud, se identificó que únicamente una de ellas cumple con los requerimientos establecidos por la OMM (Tabla 3 - 29).

Tabla 3 - 29. Análisis de consistencia y completitud de dirección del viento

Dirección del viento									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	jun-84	oct-18	413	50	12.1	87.9	Cumple
2	35025110	LA LIBERTAD - AUT	ene-84	may-14	365	115	31.5	68.5	No Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.10. *Velocidad del viento*

La variable de velocidad del viento cuenta con cuatro estaciones meteorológicas; sin embargo, tras el análisis de consistencia y completitud, se identificó que una de ellas cumple con los requerimientos establecidos por la OMM (Tabla 3 - 30).

Tabla 3 - 30. Análisis de consistencia y completitud de velocidad del viento

Velocidad del viento									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	jun-84	ene-18	404	43	10.6	89.4	Cumple
2	35025110	LA LIBERTAD - AUT	ene-84	may-14	365	115	31.5	68.5	No Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.11. *Caudales medios*

Se cuenta con registros de caudal en una estación limnigráfica; al aplicar los criterios de consistencia y completitud definidos por la OMM, se confirma que dicha estación cumple con los requisitos necesarios para su inclusión en el análisis (Tabla 3 - 31).

Tabla 3 - 31. Análisis de consistencia y completitud de caudales medios

Caudales									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	32077080	PUERTO RICO	ene-90	ene-25	421	9	2.1	97.9	Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.3.12. Caudales medios diarios

Se cuenta con registros de caudal en una estación limnigráfica; al aplicar los criterios de consistencia y completitud establecidos por la OMM, se confirma que dicha estación cumple con los requisitos necesarios para su inclusión en el análisis (Tabla 3 - 32).

Tabla 3 - 32. Análisis de consistencia y completitud de caudales medios

Caudales diarios									
	Estación		Inicio	Fin	Long.	Faltantes	Faltantes [%]	Completitud [%]	Cumple
1	32077080	PUERTO RICO	ene-90	ago-25	12996	310	2.4	97.6	Cumple

Fuente: Consorcio Sardinata 2025, apoyo IDEAM

3.1.4. Complementación de las series

Existen múltiples razones por las cuales las entidades encargadas de la operación de las estaciones hidrometeorológicas dejan de reportar información de las variables medidas durante algunos periodos de tiempo. La ausencia de estos datos, denominados datos faltantes, dificulta el análisis de las series de tiempo de las variables medidas, por lo tanto, se convierte en una tarea importante buscar un mecanismo adecuado que permita "complementar" estos datos faltantes, de tal forma que se refleje el posible registro de esos periodos de tiempo (V. Sanchez,2016).

La complementación de los datos faltantes se hace a partir de un polinomio de segundo grado donde las variables utilizadas son predictores exógenos y endógenos producto de la autocorrelación. La complementación de series solo tiene lugar para los análisis que requieran de series completas como lo es la prueba de aleatoriedad, de manera que, para aquellos análisis que no requieren series completas el rellenado se evita disminuyendo así la incertidumbre (Corporación Autónoma Regional (CAR), 2018).

Asimismo, los datos anómalos detectados mediante la aplicación de la prueba estadística de Grubbs fueron excluidos del registro histórico, con el fin de garantizar la homogeneidad y consistencia de la serie temporal. Posteriormente, dichos valores atípicos fueron estimados mediante interpolación utilizando un ajuste polinómico de segundo grado, lo que permite una aproximación adecuada al comportamiento natural de la variable analizada sin introducir distorsiones significativas en la tendencia de los datos.

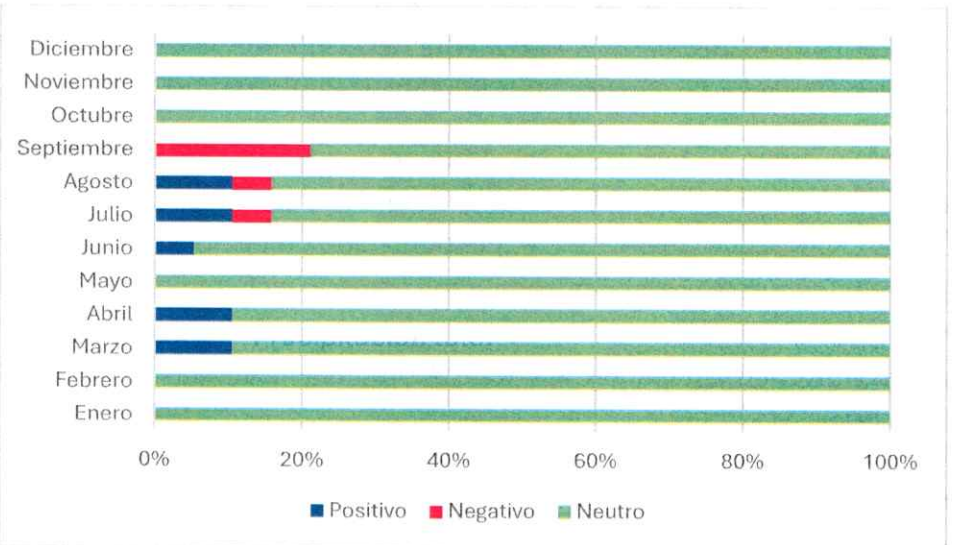
3.1.5. Tendencias

La prueba de tendencia se realizó mediante el método de Mann-Kendall para un nivel de confianza del 90%. El método estadístico propone una hipótesis nula (H0) que afirma que no existe una tendencia en la serie mientras que la hipótesis alternativa (Ha) propone que existe una tendencia, la cual puede ser positiva cuando la variable tiende a aumentar o negativa cuando la variable tiende a disminuir (Anexo B.2.2).

3.1.5.1. Precipitación total

En la Gráfica 3 - 1 se presenta la tendencia de la precipitación total en la microcuenca del Caño Sardinata. Se observa que el 11% de las estaciones registran una tendencia positiva entre marzo y agosto, con excepción de mayo y junio. Por otro lado, en septiembre, el 21% de las estaciones muestran una tendencia negativa. En los meses restantes, la totalidad de las estaciones (100%) evidencian un comportamiento neutral.

Gráfica 3 - 1 Tendencia de la precipitación con base en las estaciones meteorológicas



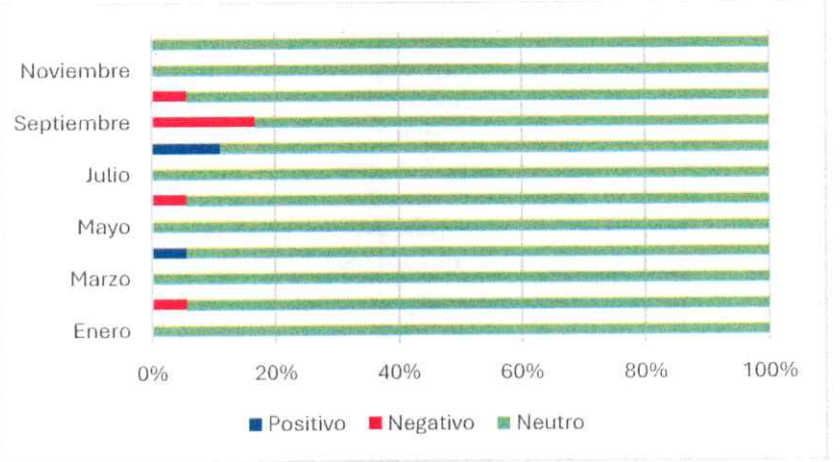
Fuente: Consorcio Sardinata 2025

3.1.5.2. Precipitación máxima en 24 horas

En la 3 - 2, se observa que entre el 83% y el 100% de las estaciones meteorológicas presentan una tendencia neutral a lo largo del año para la precipitación máxima en 24

horas. No obstante, en los meses de febrero, junio, septiembre y octubre, entre el 6% y el 17% de las estaciones muestran una tendencia negativa, mientras que en abril y agosto se identifica una tendencia positiva que oscila entre el 6% y el 11%.

Gráfica 3 - 2 Tendencia de la precipitación máxima en 24 horas con base en las estaciones meteorológicas

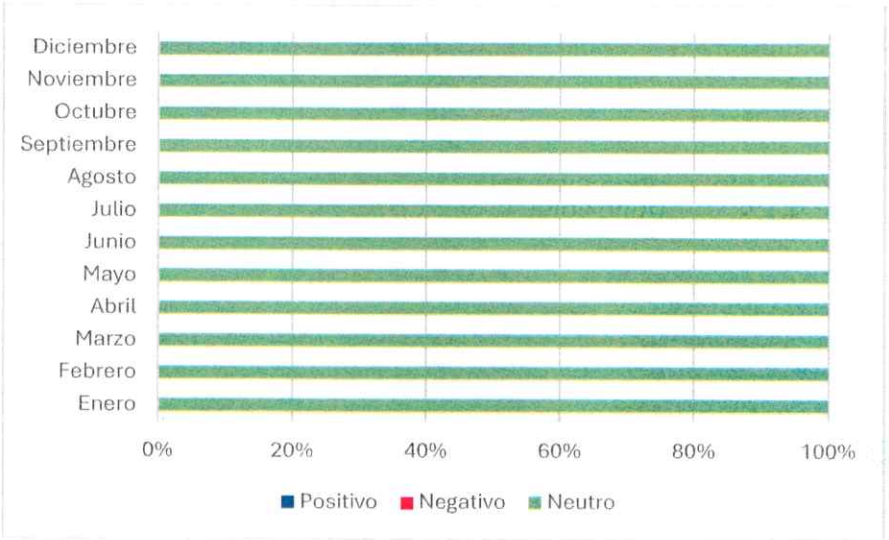


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.5.3. Precipitación diaria

La Gráfica 3 - 3, muestra que el 100% de las estaciones meteorológicas analizadas presentan una tendencia neutral en la precipitación diaria a lo largo del año. Este resultado indica que, dentro del periodo evaluado, no se evidencian patrones consistentes de incremento ni de disminución sostenida en los valores diarios de precipitación.

Gráfica 3 - 3 Tendencia de la precipitación diaria con base en las estaciones meteorológicas

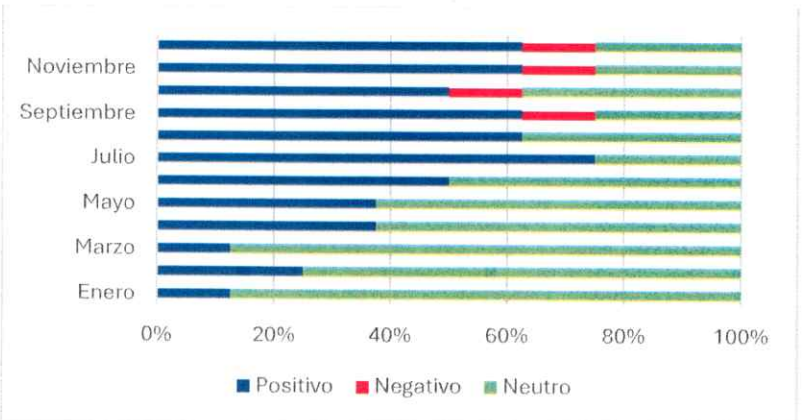


Fuente: Consorcio Sardinata 2025

3.1.5.4. Temperatura media

En la Gráfica 3 - 4, se observa que entre el 25% y el 88% de las estaciones meteorológicas presentan una tendencia neutra en la variable de temperatura a lo largo del año. Asimismo, entre el 17% y el 75% de las estaciones registran una tendencia positiva en todos los meses, mientras que un 13% evidencia una tendencia negativa entre septiembre y diciembre.

Gráfica 3 - 4 Tendencia de la temperatura media con base en las estaciones meteorológicas

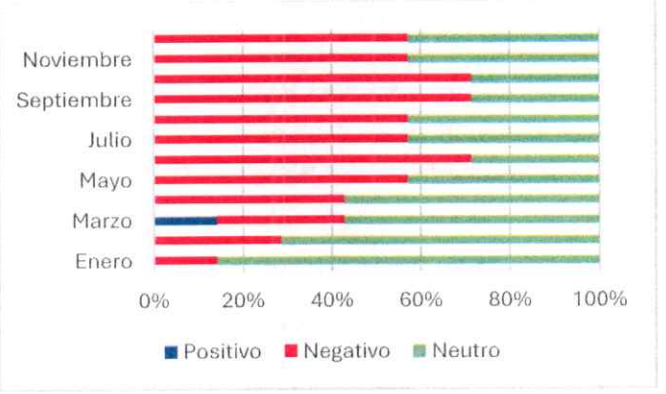


Fuente: Consorcio Sardinata 2025

3.1.5.5. *Humedad relativa*

En la variable de humedad relativa se evidencia que, a lo largo de todos los meses, entre el 29% y el 86% de las estaciones presentan una tendencia neutra, con excepción de marzo, donde el 14% registra una tendencia positiva. Enero concentra el mayor valor de tendencia neutra con un 86%, mientras que en junio, septiembre y octubre el 71% de las estaciones muestra una tendencia negativa.

Gráfica 3 - 5 Tendencia de la humedad relativa con base en las estaciones meteorológicas

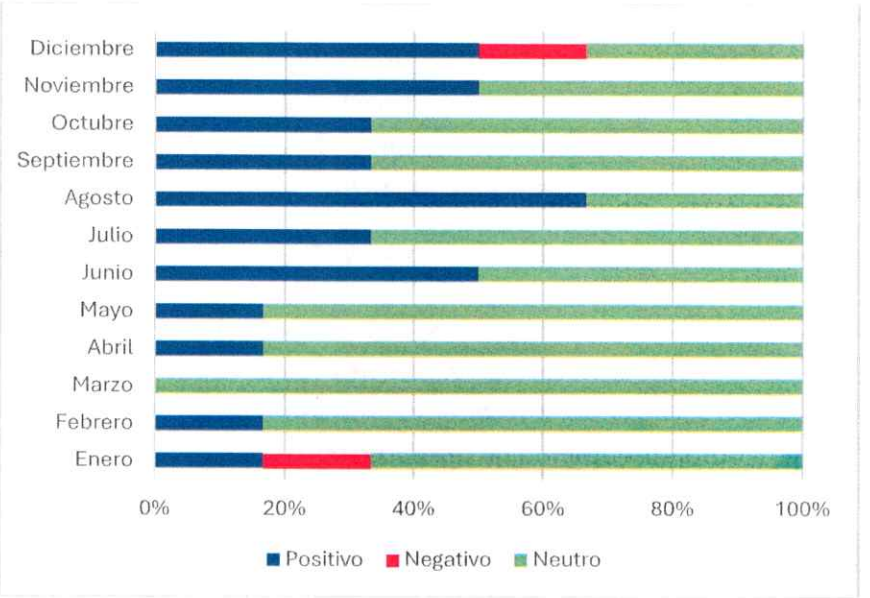


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.5.6. *Evaporación*

En la Gráfica 3 - 6 se muestra la tendencia de la evaporación en la microcuenca del Caño Sardinata. A lo largo del año, entre el 50% y el 100% de las estaciones presentan una tendencia neutral. No obstante, en enero y diciembre se observa una tendencia negativa en el 17% de las estaciones. En todos los meses, entre el 17% y el 50% de las estaciones evidencian una tendencia positiva, con excepción de marzo, cuando la totalidad de las estaciones registran una tendencia neutral.

Gráfica 3 - 6 Tendencia de la evaporación con base en las estaciones meteorológicas

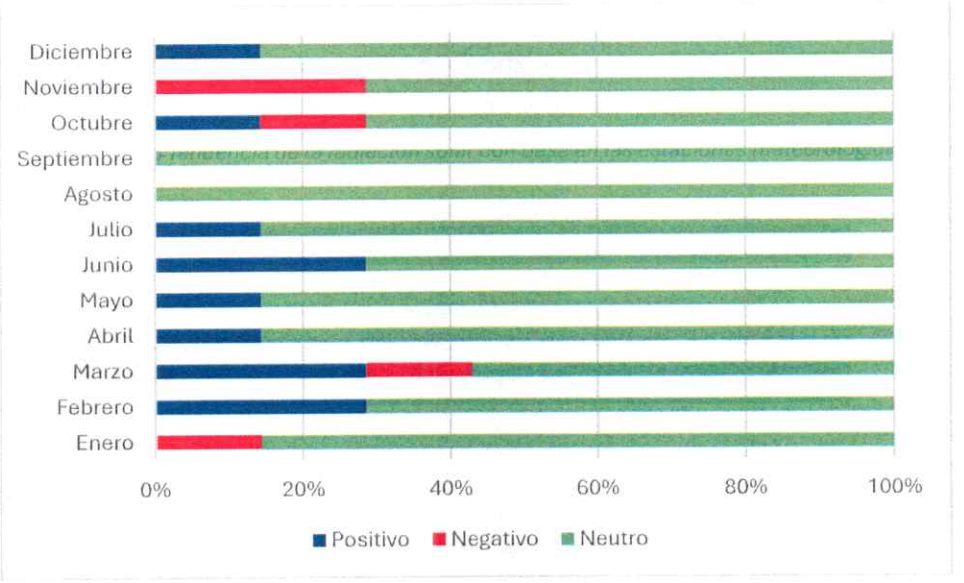


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.5.7. Brillo solar

En la Gráfica 3 - 7 se muestra la tendencia del brillo solar en la microcuenca del Caño Sardinata. Se evidencia que entre el 71% y el 100% de las estaciones mantienen una tendencia neutral a lo largo del año. Por su parte, entre el 14% y el 29% de las estaciones registran una tendencia positiva entre febrero y julio, así como en octubre y diciembre. En contraste, en los meses de enero, marzo, octubre y noviembre, entre el 14% y el 29% de las estaciones presentan una tendencia negativa.

Gráfica 3 - 7 Tendencia del brillo solar con base en las estaciones meteorológicas

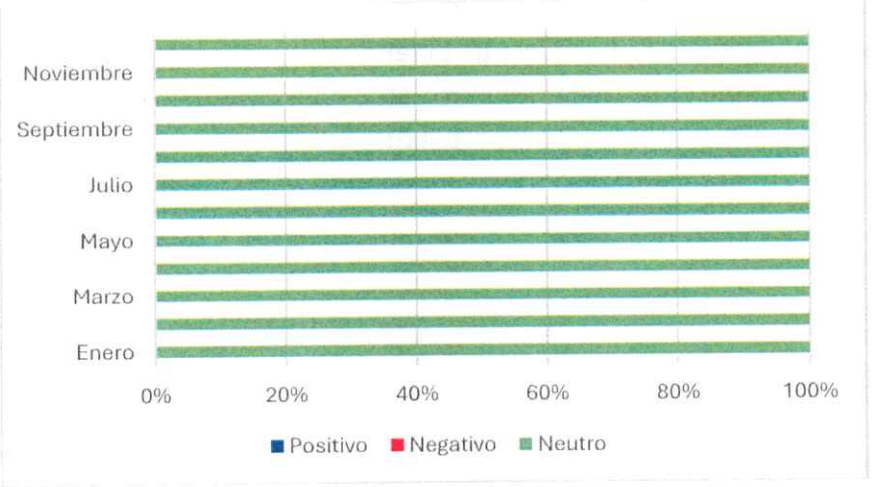


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.5.8. Radiación solar

En la Gráfica 3 - 8, se presenta la tendencia de la radiación solar, donde se evidencia que el 100% de las cuatro estaciones analizadas registran un comportamiento neutral a lo largo de todo el año.

Gráfica 3 - 8 Tendencia de la radiación solar con base en las estaciones meteorológicas

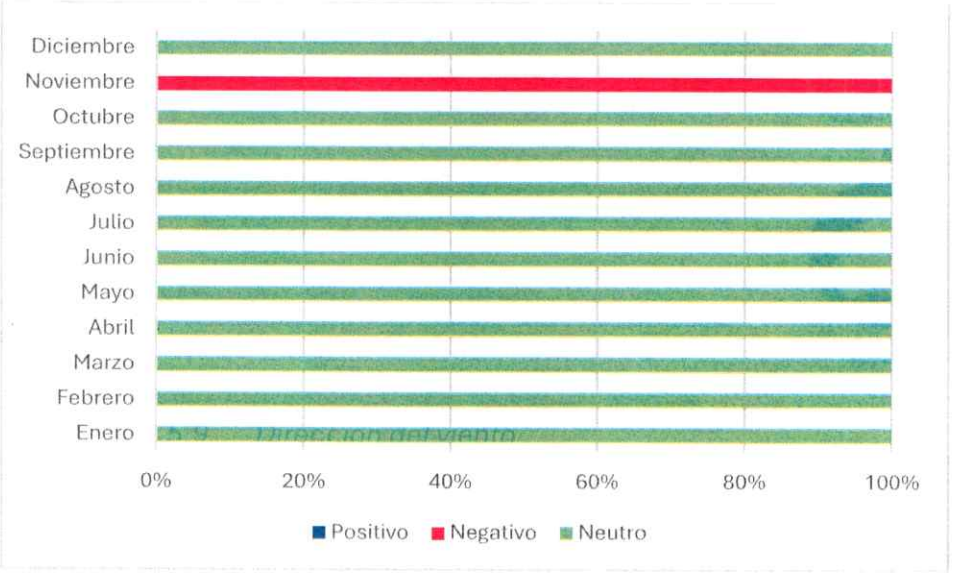


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.5.9. *Dirección del viento*

En la Gráfica 3 - 9, se muestra la tendencia de la dirección del viento, donde se observa que el 100% de las estaciones analizadas presentan un comportamiento neutral durante todo el año, excepto en noviembre, mes en el que el 100% registra una tendencia negativa.

Gráfica 3 - 9 Tendencia de la dirección del viento con base en las estaciones meteorológicas

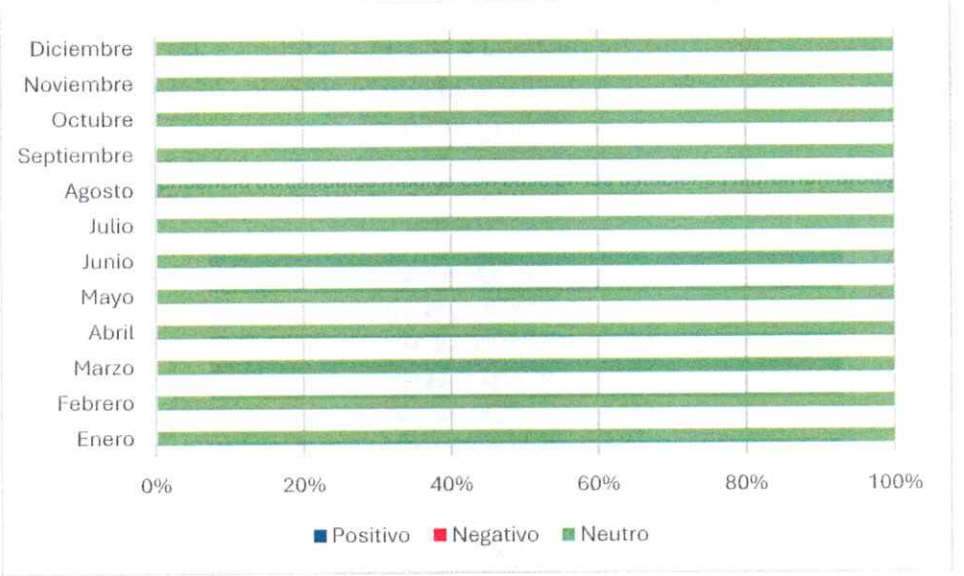


Fuente: Consorcio Sardinata 2025

3.1.5.10. *Velocidad del viento*

La Gráfica 3 - 10, presenta el análisis de la tendencia de la velocidad del viento en la microcuenca, evidenciando que las cuatro estaciones evaluadas mantienen de forma consistente una tendencia neutral durante todo el año.

Gráfica 3 - 10 Tendencia de la velocidad del viento con base en las estaciones meteorológicas

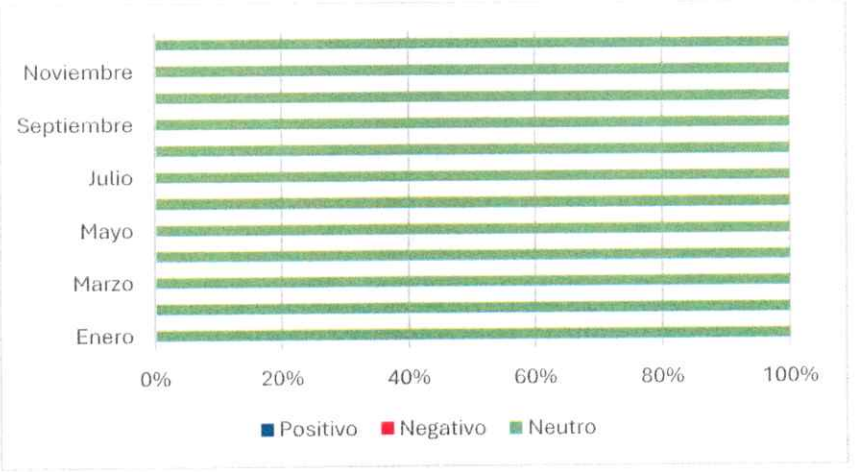


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.5.11. Caudales medios mensuales

En la Gráfica 3 - 11, se observa la tendencia de caudales medios mensuales de la microcuenca del Caño Sardinata. Se puede evidenciar que el 100% de las estaciones identifican una tendencia neutral durante todo el año.

Gráfica 3 - 11 Tendencia de caudales medios con base en las estaciones hidrometeorológicas

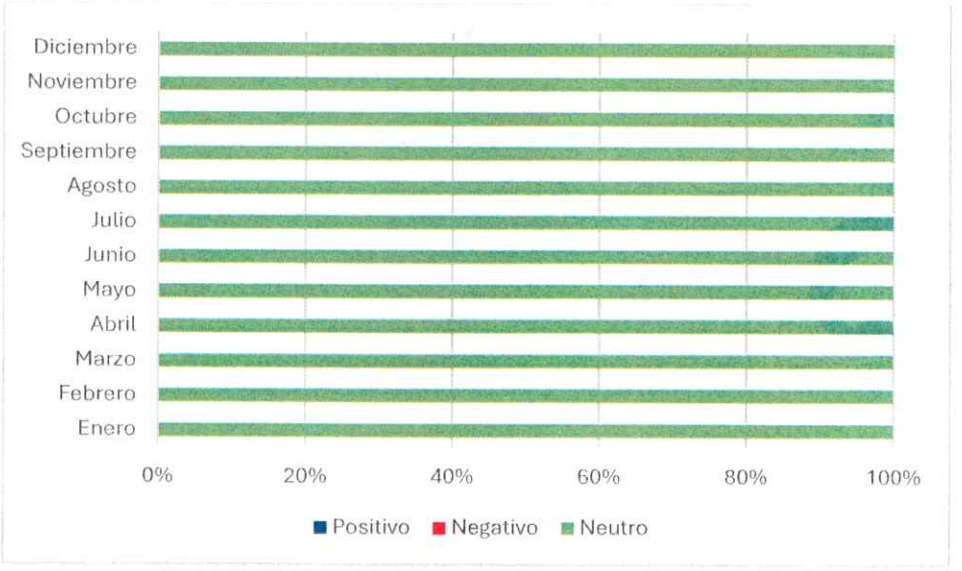


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.5.12. *Caudales medios diarios*

La Gráfica 3 - 12, presenta la tendencia de los caudales medios diarios en la microcuenca del Caño Sardinata. Se observa que el 100% de las estaciones registran un comportamiento neutral a lo largo de todo el año.

Gráfica 3 - 12 Tendencia de caudales medios con base en las estaciones hidrometeorológicas



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6. Aleatoriedad

Se implementó una prueba de rachas, esta prueba permite identificar conjuntos estadísticos, para este caso mensual, que no sigan ninguna tendencia, ciclo, estacionalidad o algún tipo de patrón.

La aplicación de esta prueba permite la elección del tratamiento estadístico, para obtener los momentos estadísticos o caracterizar probabilísticamente la variable. Si el conjunto estadístico resulta no aleatorio debe prestarse especial atención a dichas series en la aplicación de la prueba de ajuste, debido a que podrían no ajustarse a ninguna distribución y en consecuencia no se podría calcularse el valor esperado. Los resultados completos de la prueba de aleatoriedad se presentan en el anexo B.2.3

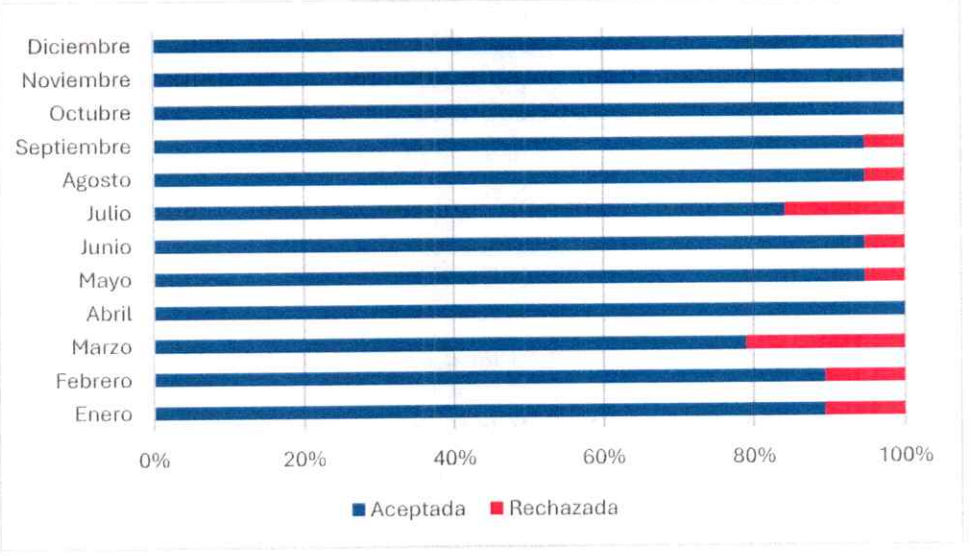
A continuación, se muestra la representación espacial del resultado de la prueba de aleatoriedad por variable para cada conjunto estadístico y el resumen anual,

soportando por unas barras que dan mayor claridad de los porcentajes de estaciones donde se acepta o no la prueba de aleatoriedad.

3.1.6.1. Precipitación total

La Gráfica 3 - 13 presenta el mosaico de la prueba de aleatoriedad aplicada a la variable de precipitación, en la cual más del 84% de las estaciones meteorológicas superaron satisfactoriamente la prueba. Sin embargo, se identifican meses con rechazos que requieren especial atención: el 21% de las estaciones en marzo, el 16% en julio, el 11% en enero y febrero, y el 5% en mayo, junio, septiembre y octubre. Estos resultados sugieren la presencia de posibles patrones sistemáticos que deben ser considerados en la etapa de ajuste con distribuciones hidrológicas.

Gráfica 3 - 13 Prueba de aleatoriedad para la precipitación



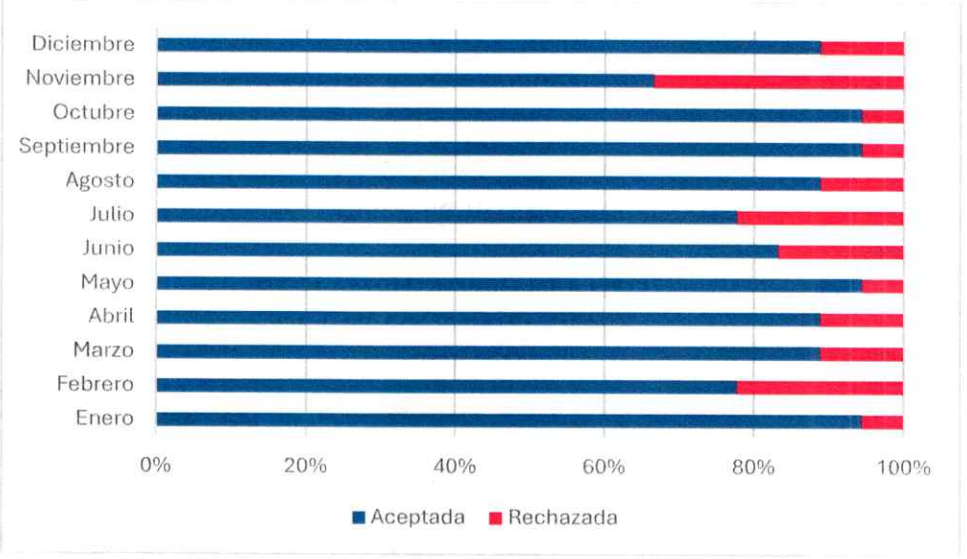
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.2. Precipitación máxima en 24 horas

La Gráfica 3 -14 muestra el mosaico que ilustra el comportamiento espacial de la prueba de aleatoriedad. Se observa que entre el 79% y el 100% de las estaciones cumplen con los criterios establecidos durante todos los meses. No obstante, en noviembre el 33% de las estaciones no superaron la prueba, lo que sugiere la presencia de posibles patrones sistemáticos en los datos. Asimismo, en febrero y julio el 22% de las estaciones fueron rechazadas, mientras que en los demás meses este porcentaje

varió entre el 6% y el 11%. En caso de que dichas estaciones no se ajusten de manera adecuada a las diez distribuciones hidrológicas consideradas en este estudio, será necesario evaluar distribuciones adicionales que permitan obtener un ajuste más preciso.

Gráfica 3 - 14 Prueba de aleatoriedad para la precipitación máxima en 24 horas



Fuente: Consorcio Sardinata 2025

3.1.6.3. Precipitación diaria

La Gráfica 3 -15 muestra que el 100% de las estaciones meteorológicas que registran la variable de caudales presentan un comportamiento aleatorio para todos los meses a excepción de febrero, julio, agosto y noviembre.

Gráfica 3 - 15 Prueba de aleatoriedad para caudales medios

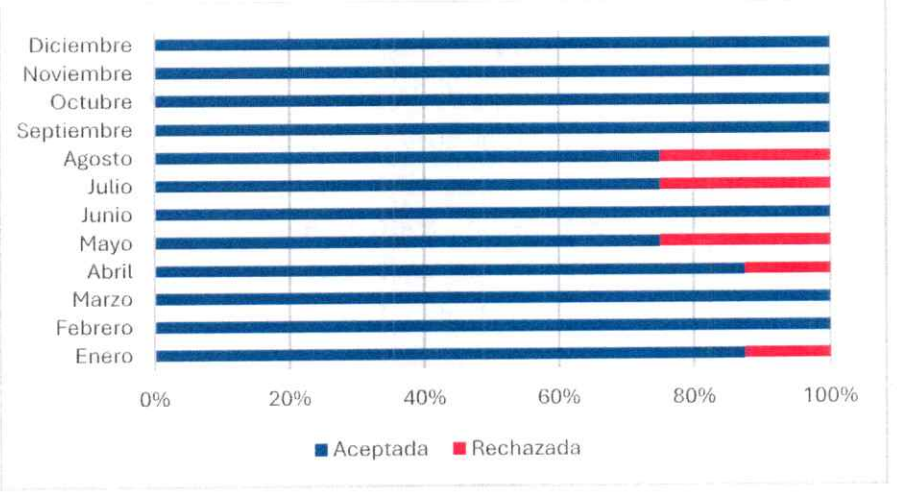


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.4. Temperatura media

La Gráfica 3 - 16 muestra que el 100% de las estaciones meteorológicas que registran la variable de temperatura presentan un comportamiento aleatorio en los meses de febrero, marzo, junio y de septiembre a diciembre. En los meses restantes, entre el 13% y el 25% de las estaciones fueron rechazadas por la prueba. En general, la mayoría de los datos cumplen con los criterios establecidos de aleatoriedad.

Gráfica 3 - 16 Prueba de aleatoriedad para la temperatura media

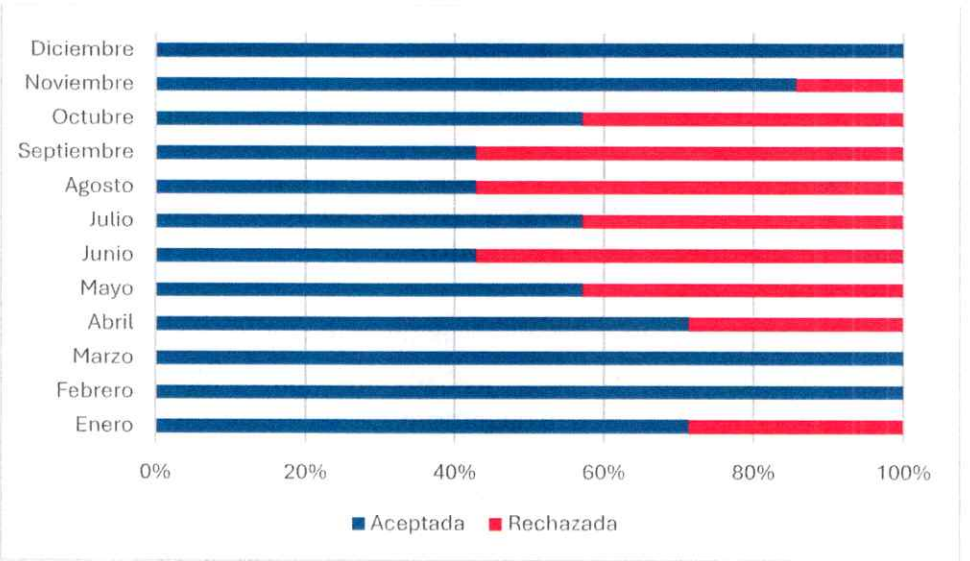


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.5. *Humedad relativa*

En la Gráfica 3 - 17 se observa que la variable de humedad relativa supera la prueba de aleatoriedad en el 100% de las estaciones durante los meses de febrero, marzo y diciembre. En contraste, en junio, agosto y septiembre el 57% de las estaciones fueron rechazadas, mientras que en los demás meses este porcentaje varió entre el 14% y el 43%.

Gráfica 3 - 17 Prueba de aleatoriedad para la humedad relativa

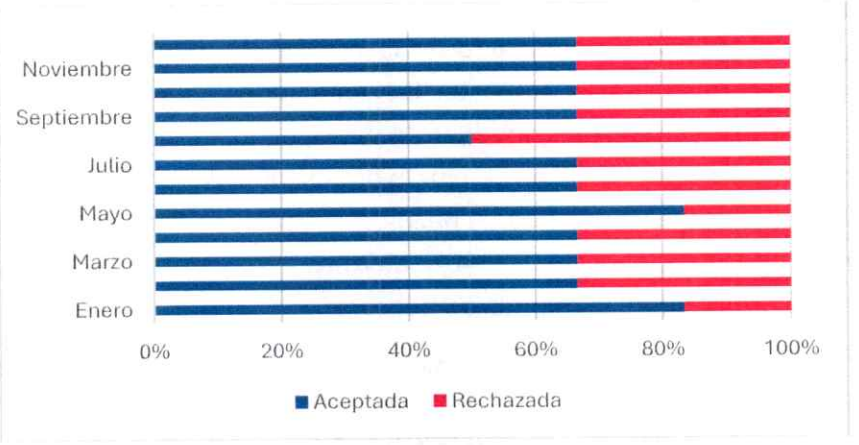


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.6. *Evaporación*

La Gráfica 3 - 18 presenta el mosaico de la prueba de aleatoriedad aplicada a la variable de evaporación. En agosto, el 50% de las estaciones fueron rechazadas, evidenciando un comportamiento menos aleatorio en este mes. En enero y mayo, únicamente el 17% de las estaciones no superaron la prueba, mientras que en los meses restantes alrededor del 33% de las estaciones presentaron rechazo.

Gráfica 3 - 18 Prueba de aleatoriedad para la evaporación

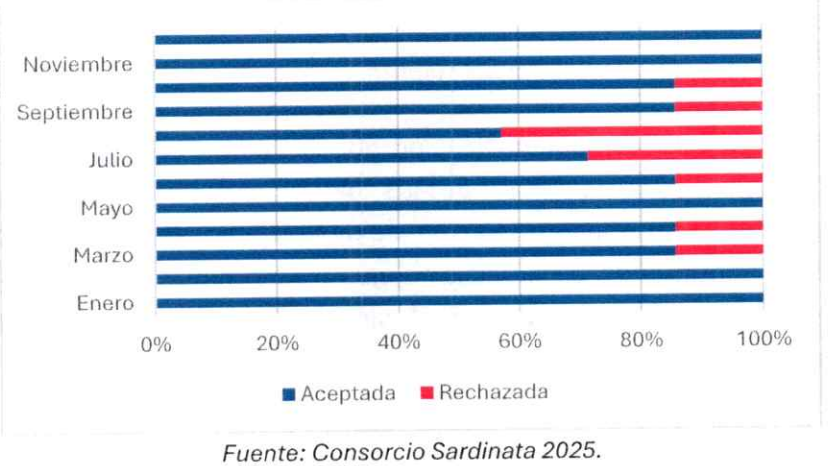


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.7. Brillo solar

La Gráfica 3 - 19 presenta el mosaico correspondiente a la prueba de aleatoriedad aplicada a la variable de brillo solar. El 100% de las estaciones superaron satisfactoriamente dicha prueba en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, lo que permite continuar con el análisis de ajuste estadístico. Sin embargo, entre el 14 al 43% de las estaciones rechazaron la hipótesis de aleatoriedad, particularmente en los meses de julio y agosto con un porcentaje del 29% y el 43% respectivamente.

Gráfica 3 - 19 Prueba de aleatoriedad para el brillo solar

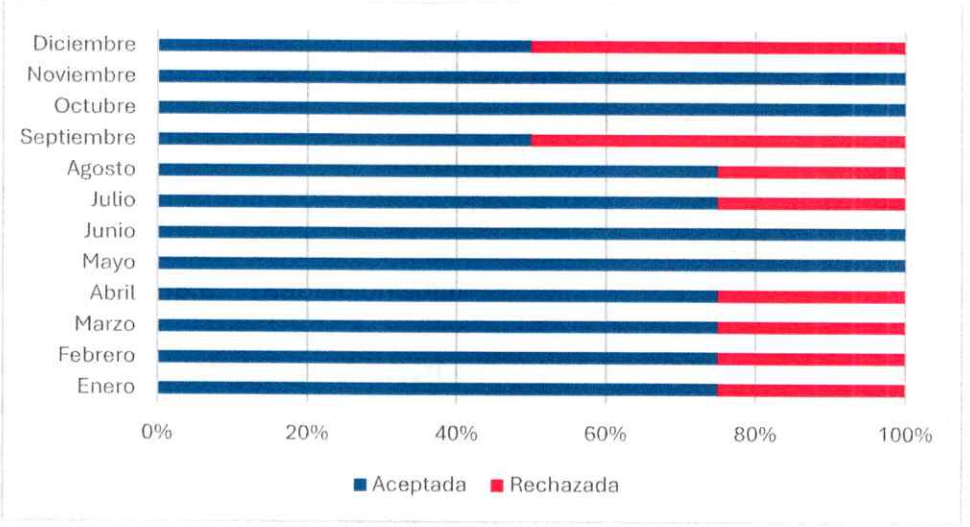


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.8. Radiación solar

La Grafica 3 - 20 presenta el mosaico de la prueba de aleatoriedad aplicada a la variable de radiación solar. El 100% de las estaciones meteorológicas superaron satisfactoriamente la prueba en los meses de mayo, junio, octubre y noviembre, lo que respalda la continuidad del análisis de ajuste estadístico. No obstante, en septiembre y diciembre el 50% de las estaciones rechazaron la hipótesis de aleatoriedad, mientras que en los demás meses este rechazo alcanzó alrededor del 25%, con mayor incidencia en febrero, junio, septiembre y octubre.

Gráfica 3 - 20 Prueba de aleatoriedad para la radiación solar

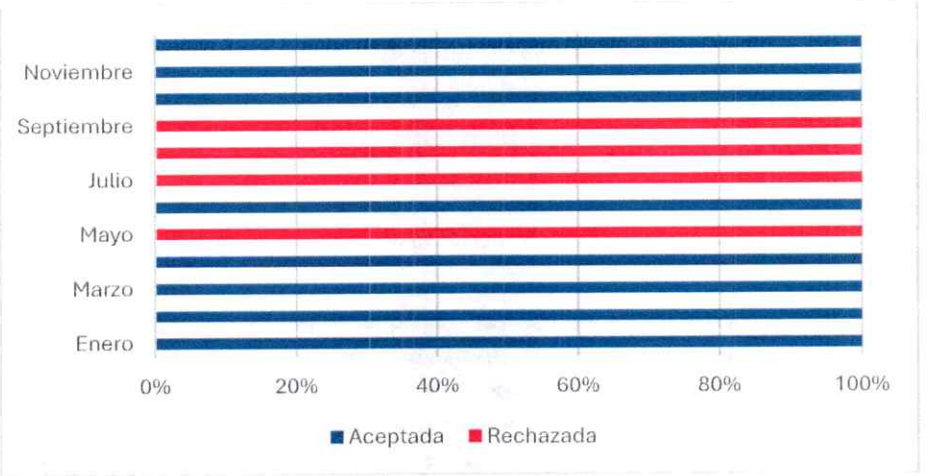


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.9. Dirección del viento

La Gráfica 3 - 21 muestra el mosaico de la prueba de aleatoriedad aplicada a la variable de dirección del viento. El 100% de las estaciones meteorológicas superaron satisfactoriamente la prueba entre los meses de octubre y abril, así como en junio, lo que respalda la continuidad del análisis de ajuste estadístico. En contraste, cerca del 100% de las estaciones rechazaron la hipótesis de aleatoriedad durante mayo y de julio a septiembre.

Gráfica 3 - 21 Prueba de aleatoriedad para la dirección del viento

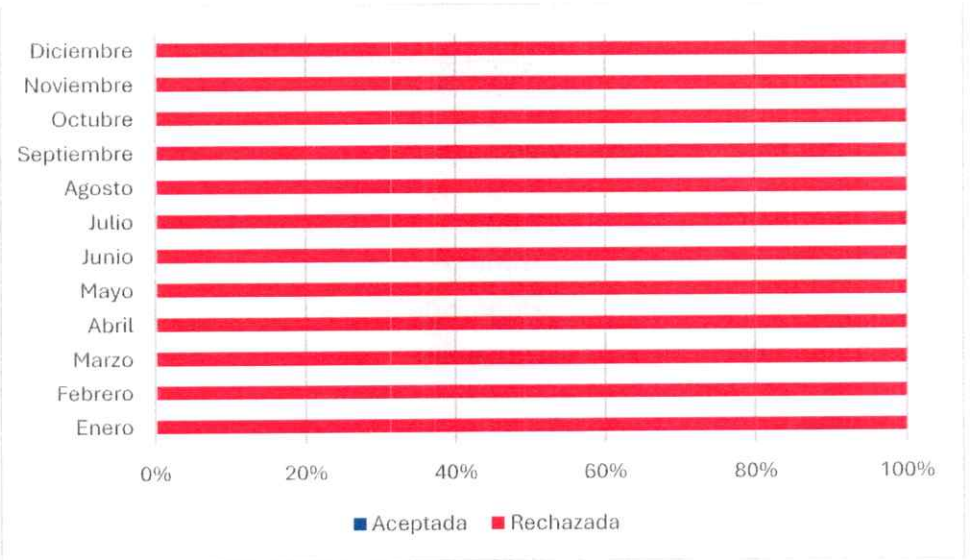


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.10. Velocidad del viento

La Gráfica 3 - 22 presenta el mosaico de la prueba de aleatoriedad aplicada a la variable de velocidad del viento, donde se observa que el 100% de las estaciones meteorológicas no superaron la prueba en ninguno de los meses analizados.

Gráfica 3 - 22 Prueba de aleatoriedad para la velocidad el viento

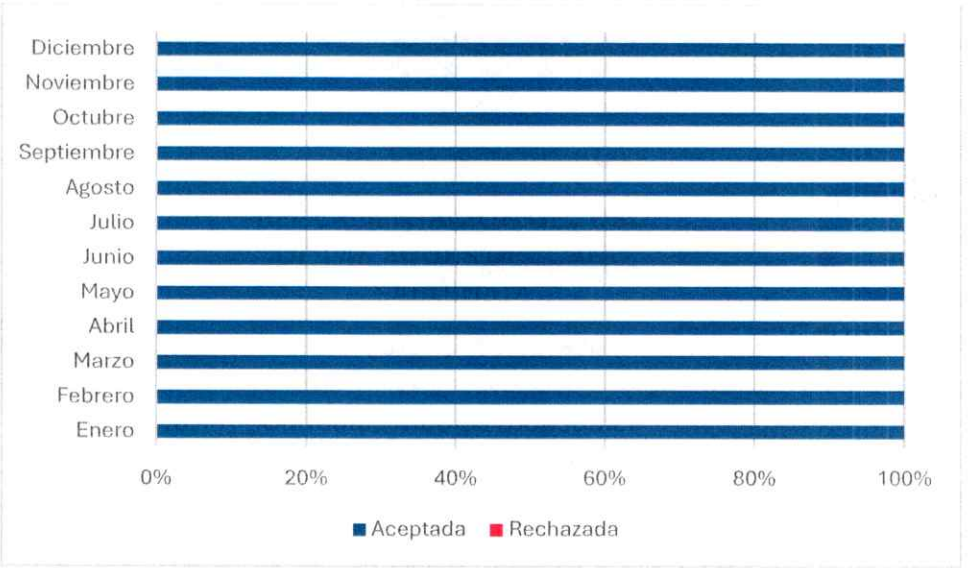


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.11. Caudales medios mensuales

La Gráfica 3 - 23 muestra que el 100% de las estaciones meteorológicas que registran la variable de caudales medios mensuales presentan un comportamiento aleatorio. En la mayoría de los casos, los datos cumplen con los criterios establecidos por la prueba de aleatoriedad, sin embargo, estos datos son la excepción.

Gráfica 3 - 23 Prueba de aleatoriedad para caudales medios

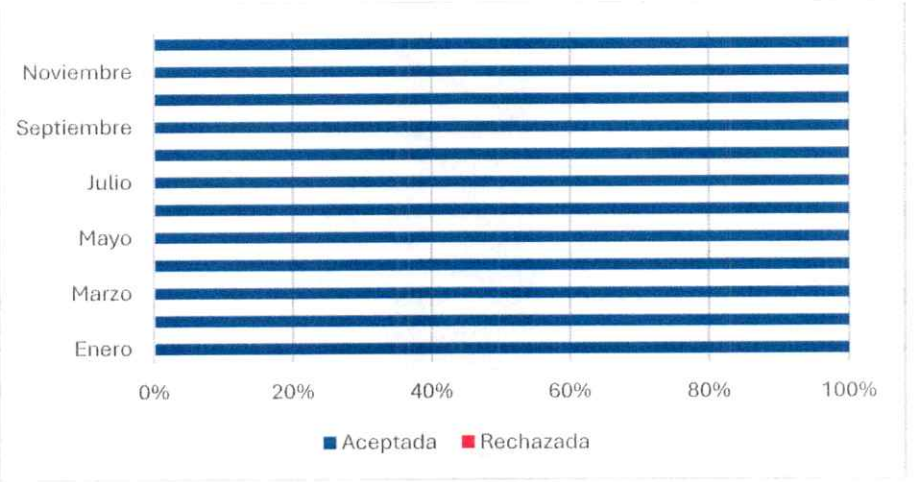


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.6.12. Caudales medios diarios

La Gráfica 3 - 24 evidencia que el 100% de las estaciones meteorológicas que registran la variable de caudales presentan un comportamiento aleatorio. En la mayoría de los casos, los registros cumplen con los criterios definidos por la prueba de aleatoriedad; no obstante, se identifican algunas excepciones.

Gráfica 3 - 24 Prueba de aleatoriedad para caudales medios



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

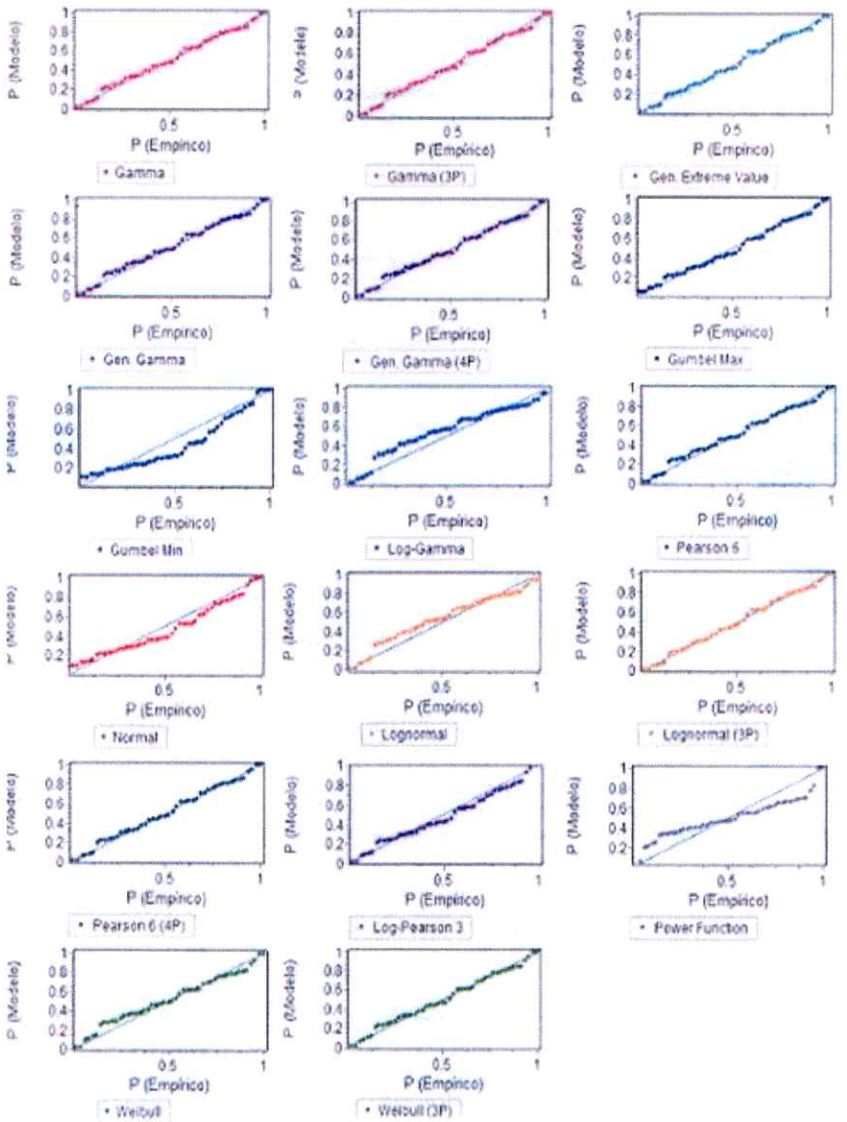
3.1.7. Ajuste

La prueba de ajuste busca determinar si la distribución empírica de los datos observados corresponde a una distribución teórica. Dado que solo se aplica a series aleatorias, es indispensable verificar previamente la aleatoriedad mediante la prueba de rachas.

En hidro climatología suelen considerarse doce distribuciones teóricas, de las cuales se aplican diez en este estudio: ocho pruebas básicas más dos adicionales para los casos en que no se supera la prueba de aleatoriedad. La selección de la distribución más adecuada se realiza con la prueba de Kolmogorov, complementada por criterios de error medio y máximo en caso de empates. Ajustar una variable a una distribución teórica permite aproximarse al rango de magnitudes con sus probabilidades y estimar parámetros estadísticos más representativos del comportamiento real.

La Ilustración 3 - 1 ilustra este proceso con un ejemplo: el análisis del mes de diciembre de la precipitación total. En el gráfico, los puntos muestran las probabilidades de no excedencia de la distribución empírica, mientras que la línea representa el ajuste teórico.

Ilustración 3 - 1 Prueba de ajuste de precipitación total.



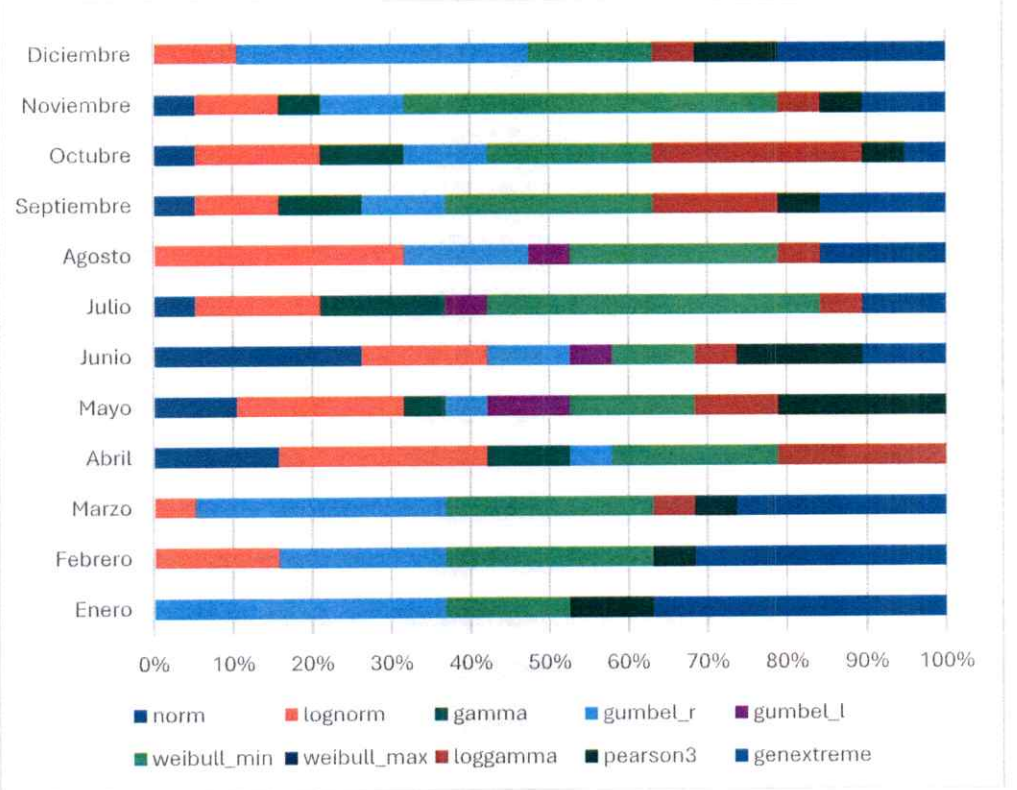
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.1. Precipitación total

La Gráfica 3 - 25 muestra el porcentaje de ajuste de los datos mensuales de precipitación total a diferentes distribuciones estadísticas. Se observa que las distribuciones Gen Extreme, Gumbel_r y Weibull mínima presentan un mejor desempeño en varios meses, destacándose como las más representativas de la

variabilidad de la precipitación. En particular, la Gen Extreme alcanza porcentajes elevados en los meses de enero, febrero y marzo; la Gumbel_r en enero, marzo y diciembre; y la Weibull mínima en julio y noviembre. En contraste, distribuciones como Weibull máxima y Gamma muestran escaso ajuste en la mayoría de los meses, lo que evidencia una menor capacidad para describir el comportamiento de los datos.

Gráfica 3 - 25 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la precipitación



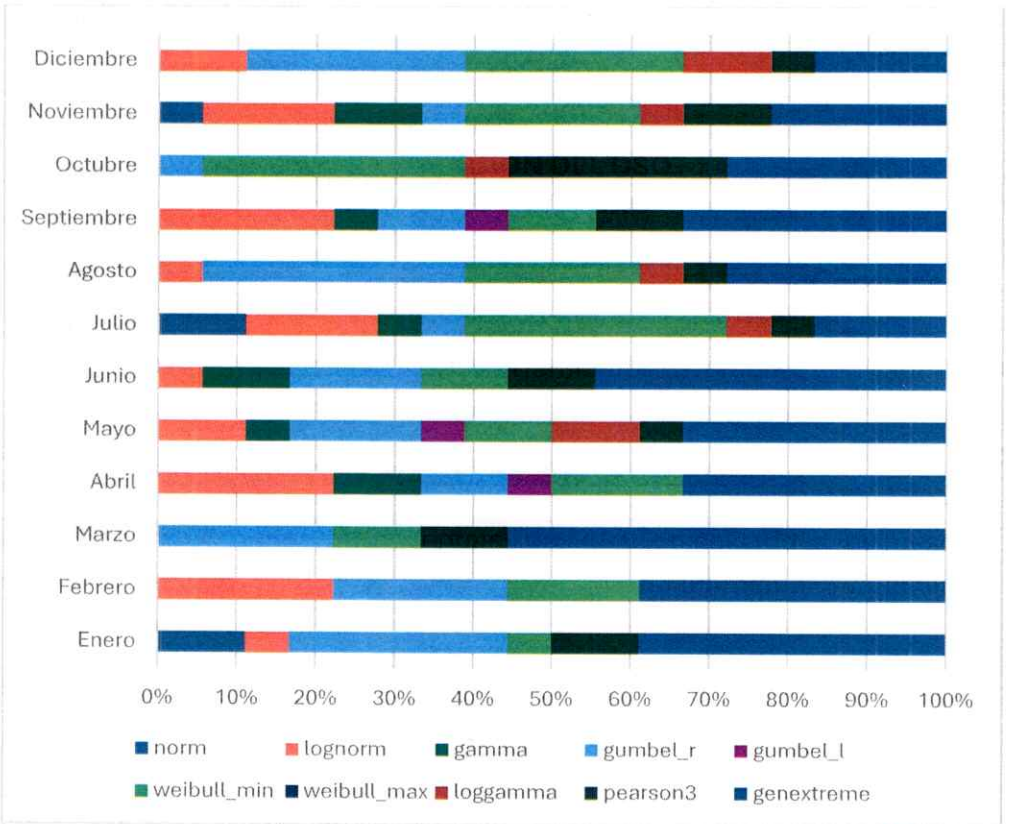
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.2. Precipitación máxima en 24 horas

En la Gráfica 3 - 26 se presentan los porcentajes de ajuste de la precipitación máxima en 24 horas a las distribuciones estadísticas evaluadas. Los resultados permiten identificar que la Gen Extreme es la distribución con mayor consistencia, registrando los porcentajes más altos de ajuste en la mayoría de los meses, con especial relevancia en marzo (56%), así como en enero y febrero (39%). Por su parte, la

Gumbel_r también muestra un comportamiento favorable en varios meses, particularmente en enero, febrero y diciembre. La Weibull mínima exhibe un ajuste moderado, destacándose en julio, agosto y octubre con valores superiores al 30%. En contraste, distribuciones como Gamma, Weibull máxima y Loggamma presentan un desempeño limitado, con bajos porcentajes de ajuste en casi todos los meses, lo que evidencia una menor capacidad para representar adecuadamente la variabilidad de la precipitación máxima.

Gráfica 3 - 26 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la precipitación máxima en 24 horas



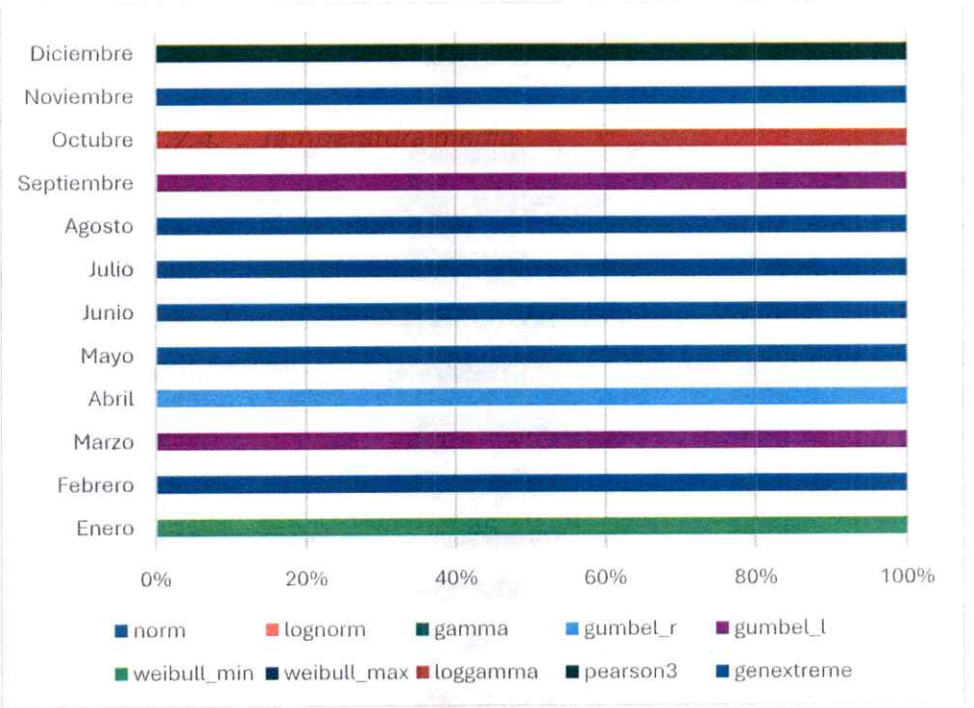
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.3. Precipitación media diaria

La Gráfica 3 - 27 presenta los porcentajes de ajuste de la precipitación media diaria frente a las distribuciones estadísticas evaluadas. Los resultados muestran que la distribución Gen Extreme ofrece la mayor consistencia, alcanzando los porcentajes

más altos de ajuste en febrero, de mayo a agosto y en noviembre. La distribución Gumbel I presenta un comportamiento favorable en marzo y septiembre. En contraste, distribuciones como Weibull mínima, Gumbel R y Loggamma evidencian un desempeño limitado, registrando el 100% de ajuste únicamente en los meses restantes.

Gráfica 3 - 27 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la precipitación máxima en 24 horas



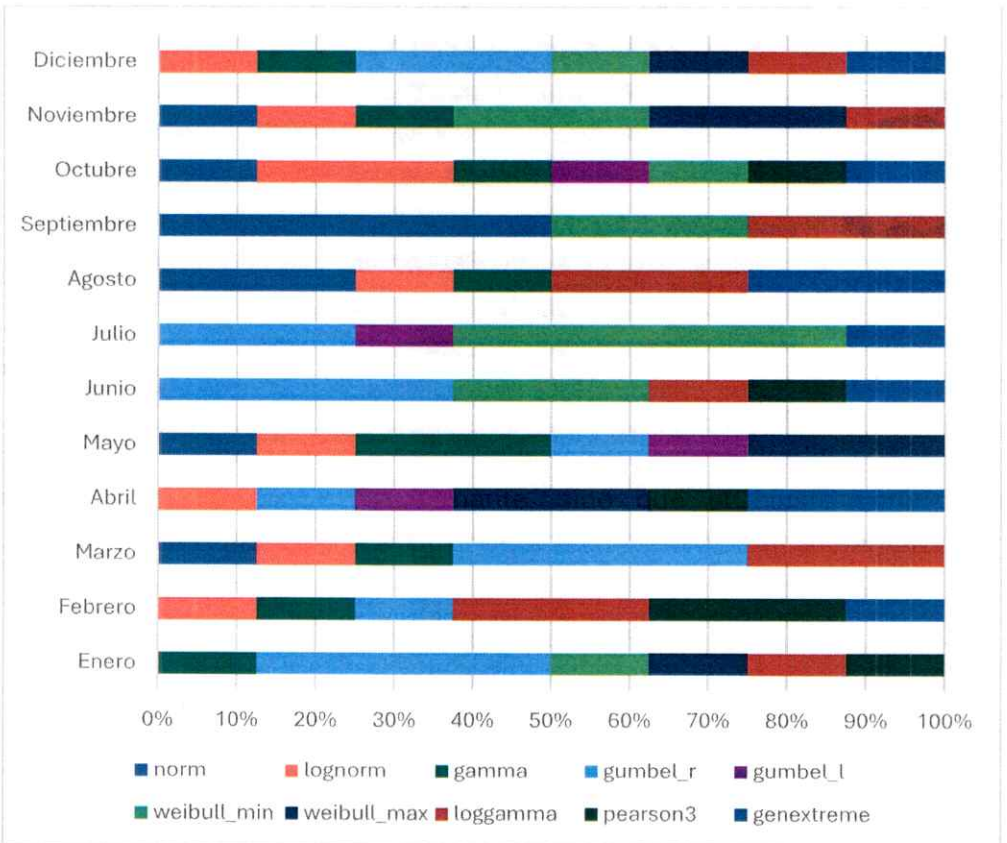
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.4. Temperatura media

La Gráfica 3 - 28 resume el grado de ajuste de las distribuciones estadísticas evaluadas frente a los datos mensuales de temperatura. Los resultados indican que la Gumbel_r es una de las distribuciones más representativas, con altos porcentajes de ajuste en los meses de enero, marzo, junio y julio. Asimismo, la Weibull mínima alcanza porcentajes relevantes en julio (50%) y septiembre (25%). La Loggamma y la Pearson3 presentan un comportamiento intermedio, destacándose en febrero y marzo con valores cercanos al 25%. Por otro lado, distribuciones como Norm, Gamma y Weibull

máxima muestran ajustes más reducidos y dispersos a lo largo del año, mientras que la Gen Extreme, a diferencia de lo observado en otras series, solo refleja un desempeño puntual en algunos meses específicos. En conjunto, los resultados sugieren que no existe una única distribución dominante, sino que el ajuste varía según la estacionalidad y las características propias de la temperatura en cada periodo.

Gráfica 3 - 28 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la temperatura media



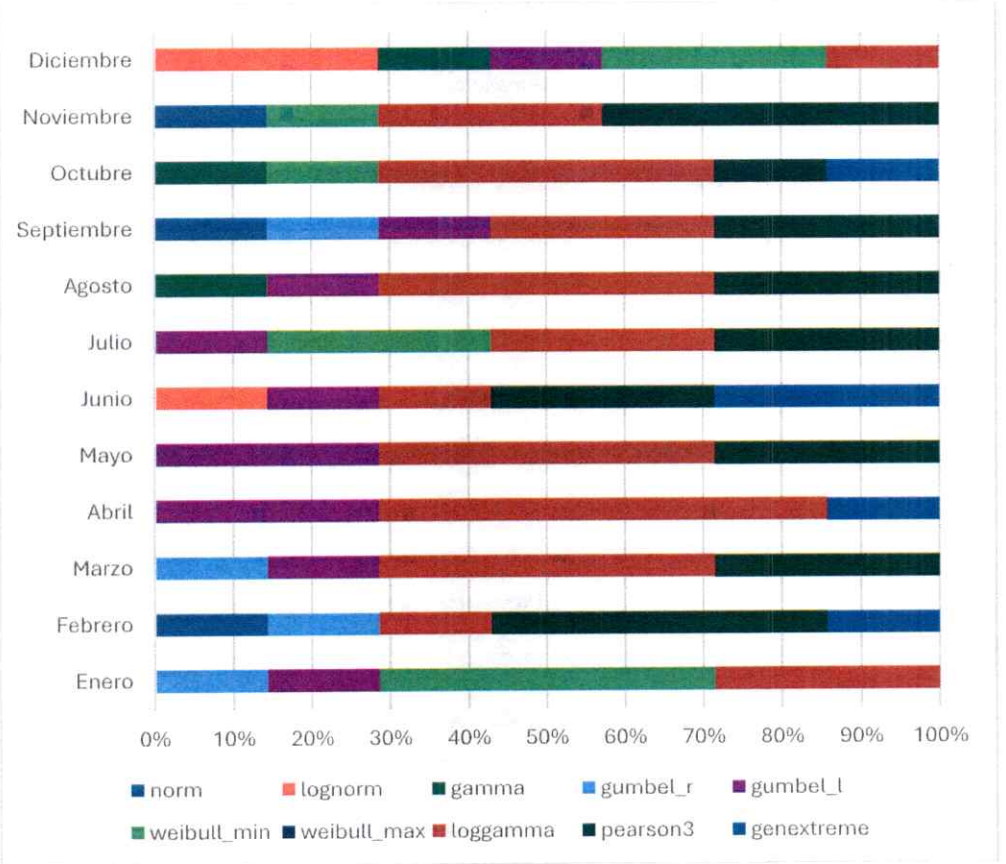
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.5. Humedad relativa

La Gráfica 3 - 29 muestra los resultados del ajuste de los datos mensuales de humedad relativa a las distintas distribuciones estadísticas evaluadas. Se observa que las

distribuciones Loggamma y Pearson3 presentan el mejor desempeño, alcanzando los mayores porcentajes de ajuste en varios meses, especialmente de febrero a noviembre, lo que evidencia su capacidad para representar de manera más adecuada la variabilidad de este parámetro. De manera complementaria, la Weibull mínima registra ajustes destacados en enero, julio y diciembre. En contraste, distribuciones como Gamma, Weibull máxima y Norm presentan un bajo nivel de ajuste a lo largo del año, lo que indica una menor correspondencia con el comportamiento de la humedad relativa.

Gráfica 3 - 29 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la humedad relativa

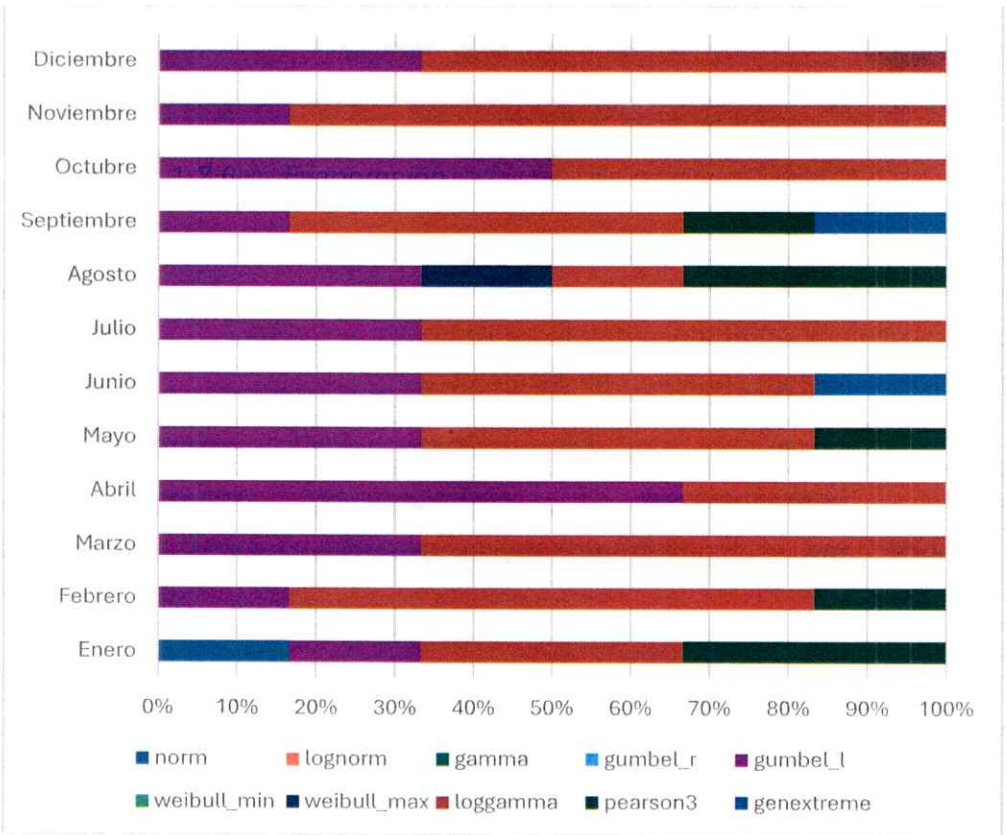


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.6. Evaporación

La Gráfica 3 - 30 muestra los resultados del ajuste de los datos mensuales de evaporación relativa a las distintas distribuciones estadísticas evaluadas. Se observa que las distribuciones Loggamma y Gumbel I presentan el mejor desempeño, alcanzando los mayores porcentajes de ajuste en todos los meses, a excepción de enero y agosto, lo que evidencia su capacidad para representar de manera más adecuada la variabilidad de este parámetro. En contraste, distribuciones como Pearson3 y genextreme presentan un bajo nivel de ajuste a lo largo del año, lo que indica una menor correspondencia con el comportamiento de la evaporación.

Gráfica 3 - 30 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la evaporación

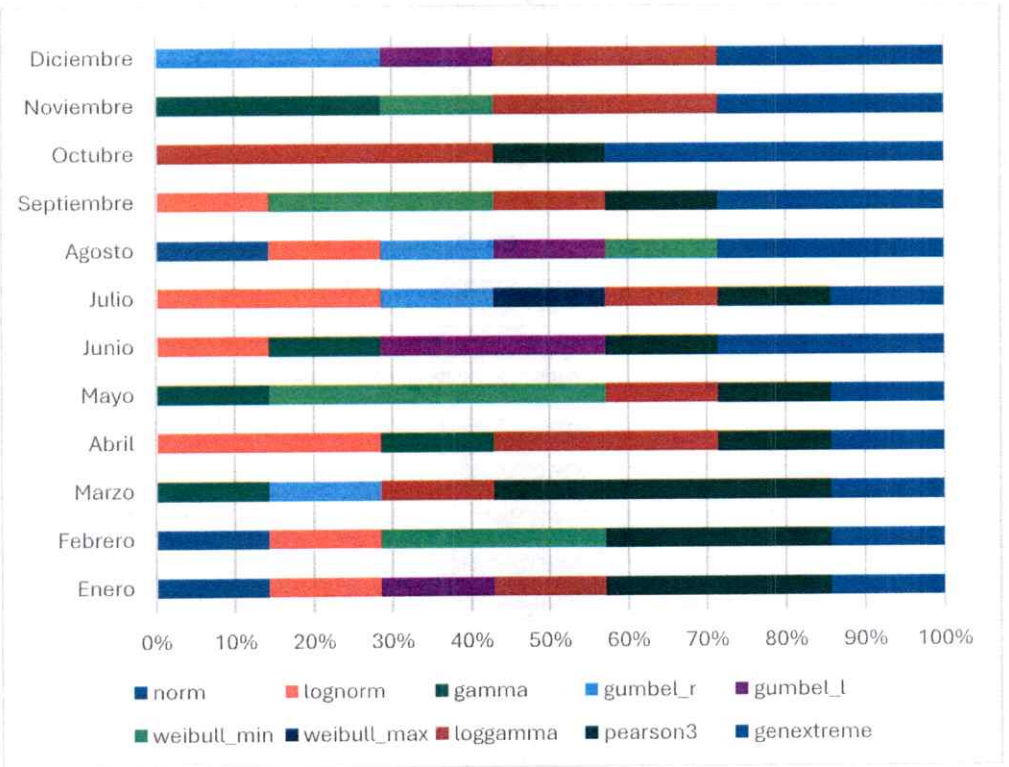


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.7. Brillo solar

La Gráfica 3 - 31 presenta los resultados del ajuste de los datos mensuales de brillo solar frente a las distribuciones estadísticas evaluadas. Los valores muestran que las distribuciones Pearson3 y Gen Extreme son las que alcanzan los mayores porcentajes de ajuste, con especial relevancia en los meses de enero a julio y septiembre a octubre, donde superan el 29%. La Loggamma también exhibe un comportamiento favorable en algunos meses puntuales, destacándose en todos menos en febrero, junio y agosto. De manera adicional, la Weibull mínima refleja ajustes importantes en febrero, mayo y septiembre. En contraste, distribuciones como Gamma, Norm y Gumbel_r presentan aportes menores y dispersos a lo largo del año, evidenciando una menor capacidad para representar la variabilidad observada en el brillo solar.

Gráfica 3 - 31 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para el brillo solar

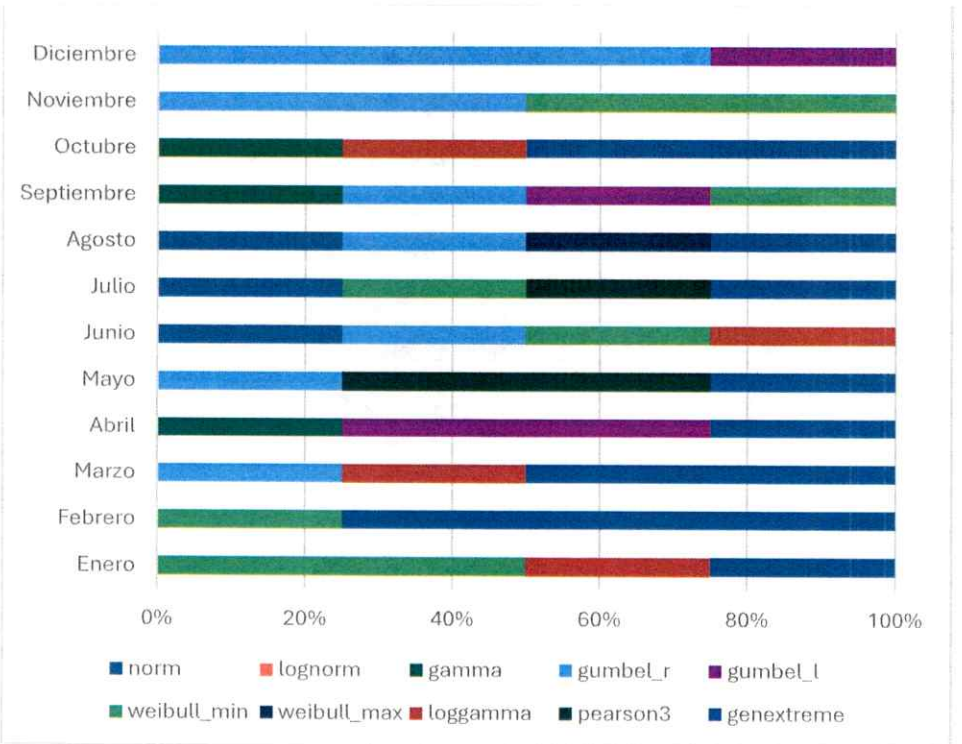


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.8. Radiación solar

La Gráfica 3 - 32 muestra los porcentajes de ajuste de las distribuciones estadísticas aplicadas a los datos mensuales de radiación solar. Los resultados indican que la Gen Extreme se posiciona como la distribución con mayor representatividad, alcanzando porcentajes elevados en varios meses, con especial destaque en febrero (75%) y octubre y marzo (50%). La Weibull mínima también refleja un ajuste sobresaliente en enero y noviembre (50%) y en meses intermedios como junio, julio y septiembre. Por su parte, la Gamma presenta aportes puntuales en abril, septiembre y octubre, mientras que la Pearson3 alcanza su mayor ajuste en mayo (50%). Otras distribuciones como Norm, Gumbel_r y Loggamma muestran un desempeño moderado y disperso, con valores relevantes únicamente en ciertos meses, como diciembre para Gumbel_r (75%). En general, se observa que la capacidad de ajuste no se concentra en una sola distribución dominante, sino que varía de manera estacional según el comportamiento de los datos.

Gráfica 3 - 32 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la radiación solar

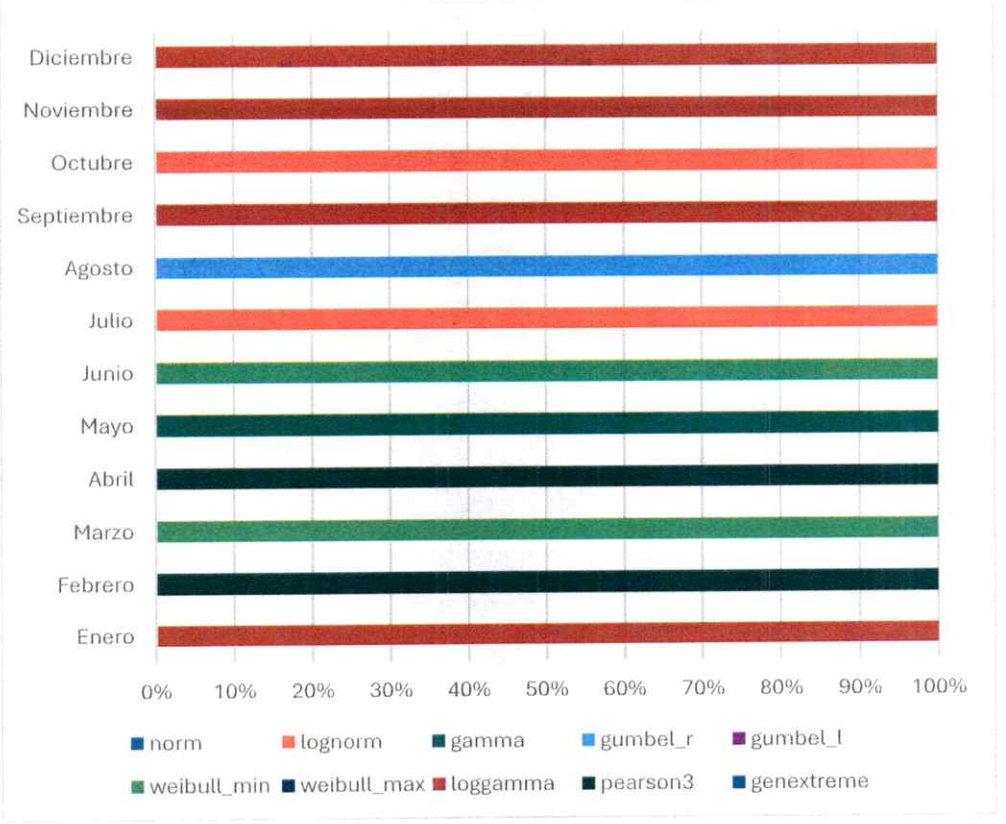


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.9. Dirección del viento

La Gráfica 3 - 33 presenta los porcentajes de ajuste de las distribuciones estadísticas para los datos mensuales de dirección del viento. Se observa que la distribución Loggamma alcanza ajustes representativos en enero, septiembre, noviembre y diciembre (100%), mientras que la Pearson3 se destaca en febrero y abril. Por su parte, la Gamma y la Weibull mínima muestran un ajuste sobresaliente en mayo y junio, respectivamente (100%). La Weibull mínima también repite su mejor desempeño en julio, y la Gumbel_r presenta un ajuste significativo en agosto (100%). En contraste, distribuciones como Norm, Lognorm, Gumbel_l, Weibull máxima y Genextreme no evidencian aportes relevantes. En conjunto, los resultados sugieren que el ajuste estadístico varía de manera marcada según el mes, sin que una única distribución logre representar de forma consistente todo el periodo analizado.

Gráfica 3 - 33 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la dirección del viento

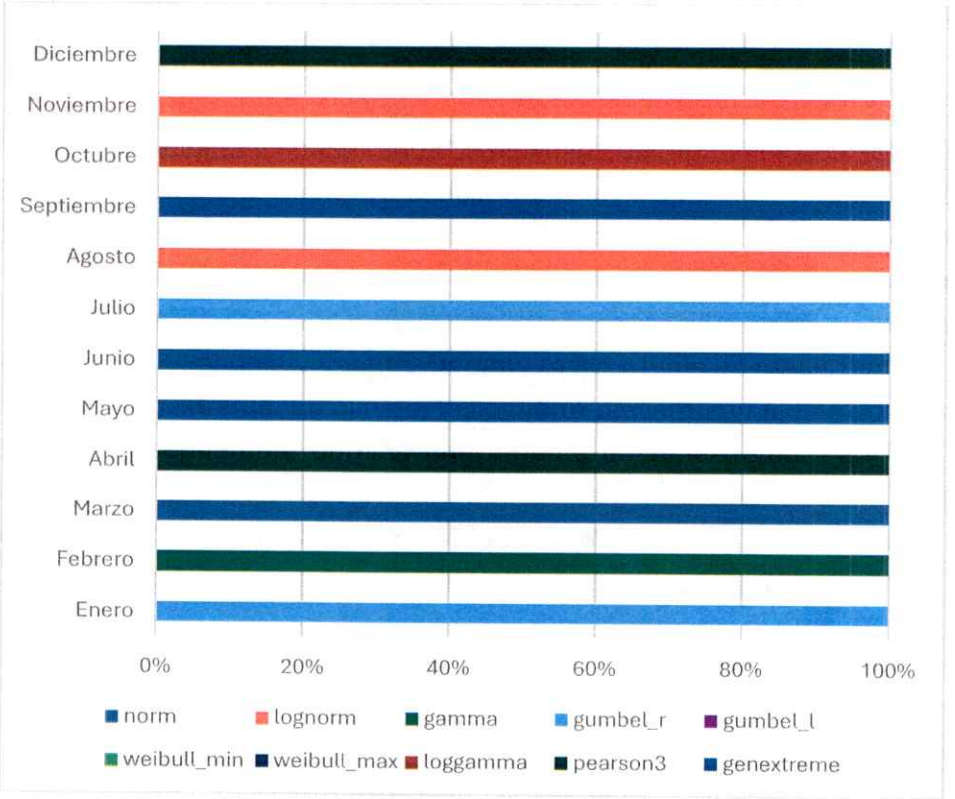


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.10. Velocidad del viento

La Gráfica 3 - 34 muestra los resultados de ajuste de distribuciones estadísticas para la variable de velocidad del viento en cada mes. En este caso, se evidencia una fuerte especialización, ya que diferentes distribuciones dominan en meses específicos sin una tendencia uniforme durante el año. La Gumbel_r logra un ajuste perfecto en enero y julio, mientras que la Gamma predomina en febrero. En marzo y abril se destacan la Norm y la Pearson3, respectivamente. Durante mayo y junio, la mejor representación corresponde a Genextreme. En agosto, la Lognorm presenta un ajuste sobresaliente, mientras que en septiembre domina nuevamente la Genextreme. Para octubre, la Loggamma es la que mejor se ajusta, y en noviembre la Lognorm vuelve a tener relevancia. Finalmente, diciembre es representado por la Pearson3. Este comportamiento refleja una clara variabilidad mensual, en la cual el modelo óptimo depende de las condiciones particulares de cada periodo.

Gráfica 3 - 34 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para la velocidad del viento

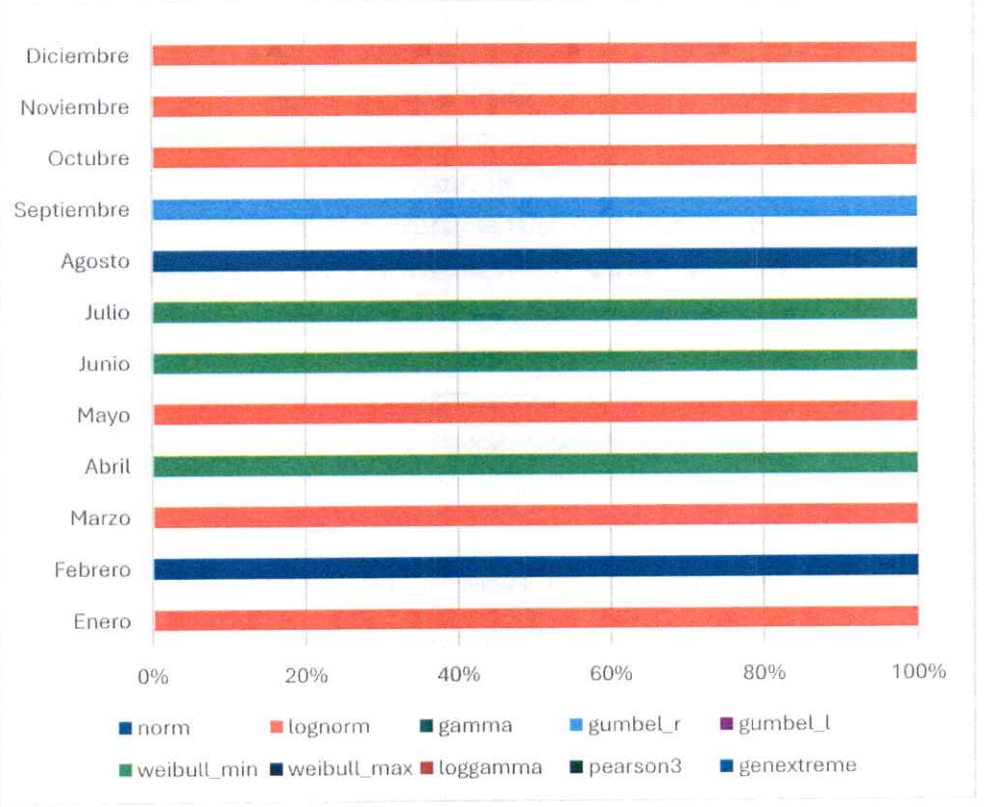


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.11. Caudales medios

La Gráfica 3 - 35 presenta los porcentajes de ajuste de las distribuciones estadísticas para los datos mensuales. Se observa un comportamiento en donde ninguna distribución logra una dominancia clara a lo largo del año. La distribución Lognorm alcanza ajustes del 100% en los meses de enero, marzo, mayo y de octubre a diciembre, mientras que la Weibull mínima se destacan en febrero, agosto y septiembre respectivamente (100%). Adicionalmente, en el mes de febrero corresponde en un 100% a la distribución de febrero, Gumbel I en agosto y Gumber R en septiembre.

Gráfica 3 - 35 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para caudales medios

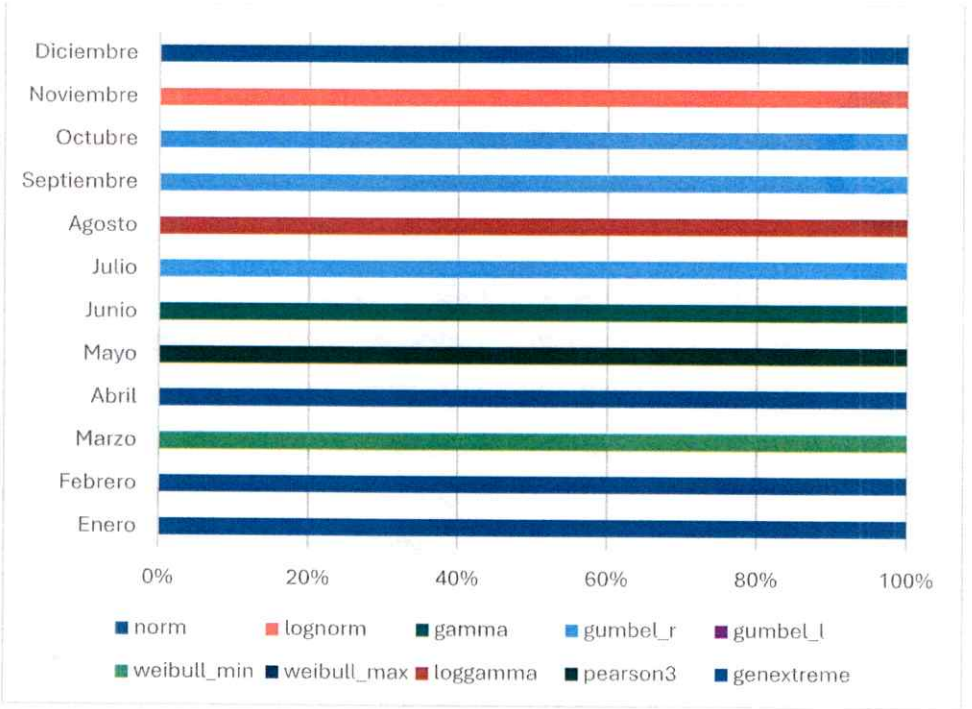


Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.1.7.12. Caudales medios diarios

La Gráfica 3 - 36 presenta los porcentajes de ajuste de las distribuciones estadísticas para los datos de caudales medios diarios. Se observa un comportamiento en donde la distribución Genextreme alcanza ajustes del 100% en los meses de enero, febrero, abril y diciembre, mientras que Gumbel R se destaca en julio, septiembre y octubre. Weibull mínima, Pearson3, Gamma, Loggama y Lognorm corresponden a marzo, mayo, junio, agosto y noviembre respectivamente.

Gráfica 3 - 36 Ajuste de los conjuntos estadísticos por distribución para caudales medios



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

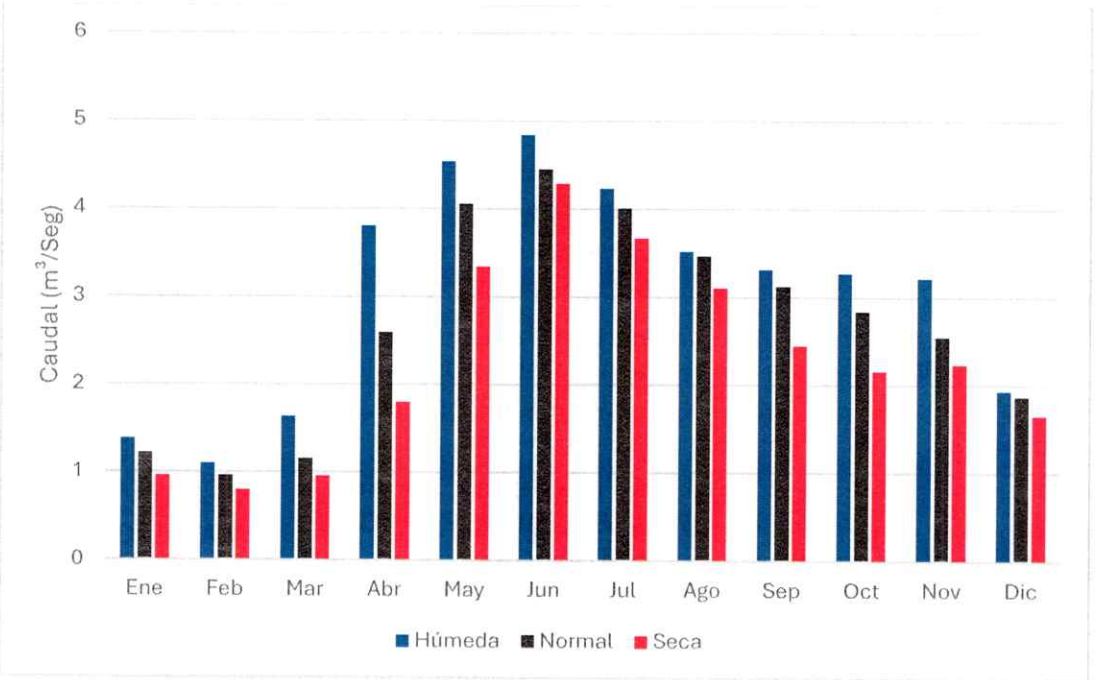
3.2. Variabilidad Climática (intra e interanual) para condiciones hidrológicas normales, húmedas y secas

El régimen hidrológico del Caño Sardinata evidencia una marcada variabilidad estacional, con diferencias bien definidas entre los escenarios seco, normal y húmedo a lo largo del año hidrológico. Durante los primeros meses (enero a marzo), los caudales presentan los valores más bajos en los tres escenarios, reflejando un periodo de déficit hídrico asociado a la temporada seca. En estos meses, incluso bajo condición húmeda, los caudales se mantienen por debajo de 2 m^3/s, lo que evidencia una limitada capacidad de regulación natural del sistema durante el estiaje.

A partir del mes de abril se observa un incremento significativo de los caudales, alcanzando sus valores máximos entre mayo y junio, donde el escenario húmedo supera los 4,5 m^3/s y el escenario medio se aproxima a los 4,0 m^3/s. Este comportamiento corresponde al periodo de mayor aporte hídrico en la cuenca, asociado al incremento de la precipitación regional. Los valores del escenario seco, aunque inferiores, mantienen la misma tendencia estacional, lo que confirma la coherencia hidrológica del sistema y su respuesta directa a la dinámica climática.

Desde julio hasta noviembre se presenta una fase de recesión progresiva del caudal, con una disminución gradual en los tres escenarios, aunque manteniendo aportes moderados que oscilan entre 2,0 y 3,5 m^3/s. Finalmente, en diciembre se registra nuevamente una reducción significativa, marcando la transición hacia condiciones de estiaje. Esta diferenciación clara entre condiciones secas, normales y húmedas constituye una base técnica sólida para la evaluación de la oferta hídrica, la definición de escenarios de disponibilidad y el soporte para procesos de transposición y modelación hidrológica en la unidad hidrográfica del Caño Sardinata.

Gráfica 3 - 37 Variabilidad climática del caño sardinata en condición húmeda, normal y seca



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

CARACTERIZACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

Teniendo como base la ubicación de las estaciones y los datos tratados, se generan mapas geoespaciales para cada variable en cada mes del año. En los mismos se puede observar la distribución de la variable sobre el área de estudio (Anexo B3).

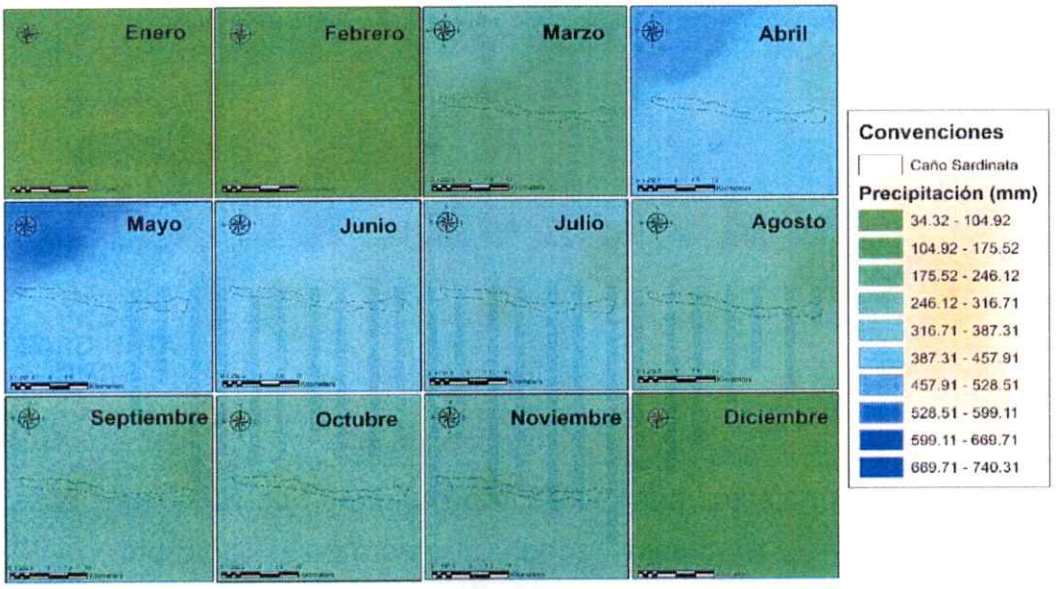
3.2.1. Precipitación total

La Figura 3 - 2 ilustra el comportamiento espaciotemporal de la precipitación total en la microcuenca del Caño Sardinata. Los valores registrados oscilan entre 34,32 mm y 740,31 mm. Los eventos de mayor precipitación se concentran entre los meses de abril a julio, y se presentan en menor medida en marzo y de agosto a noviembre, mientras que los valores más bajos se presentan de diciembre a febrero.

En términos espaciales, se observa una mayor acumulación de precipitación hacia el noroeste de la microcuenca, en contraste con un régimen más seco en la zona sureste

del área de estudio. Esta distribución evidencia un patrón heterogéneo, posiblemente condicionado por factores orográficos y dinámicas climáticas locales.

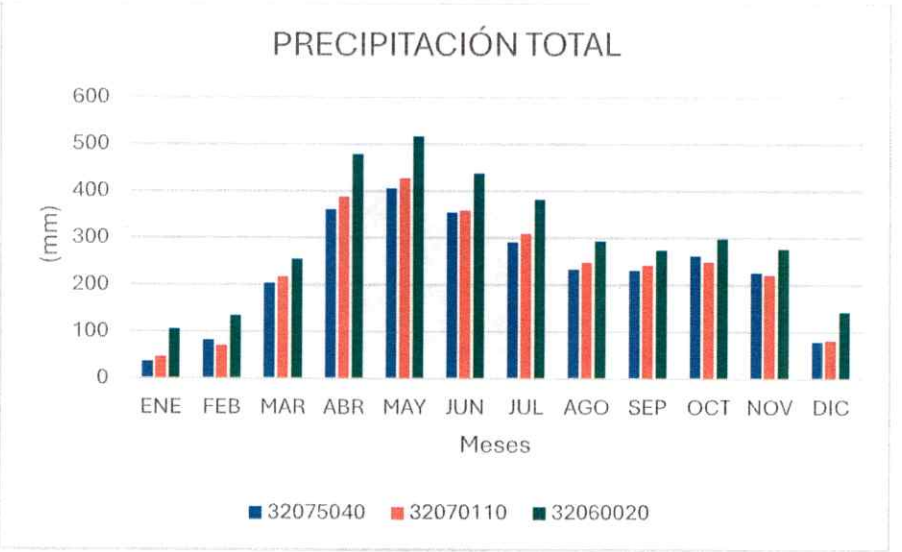
Figura 3 - 2 Distribución espacial de la precipitación en el Área de estudio



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

La gráfica 3 - 38 presenta el comportamiento de la precipitación total mensual en tres estaciones (32075040, 32070110 y 32060020), seleccionadas por su cercanía a la microcuenca del Caño Sardinata. Se identifica un régimen con dos periodos lluviosos bien definidos: el primero entre abril y junio, alcanzando su máximo en mayo con valores cercanos a 400 y 520 mm, y un segundo entre septiembre y noviembre, de menor intensidad, con registros aproximados de 200 y 300 mm. Los meses más secos corresponden a enero, febrero y diciembre, con precipitaciones inferiores a 100 mm. Al comparar las estaciones, la 32060020 registra los valores más altos en la mayoría de los meses, mientras que las estaciones 32075040 y 32070110 muestran un comportamiento muy similar entre sí. Finalmente, se resalta que el valor promedio mensual multianual de precipitación corresponde a 255,154 mm.

Gráfica 3 - 38 Gráfica de precipitación mensual total



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

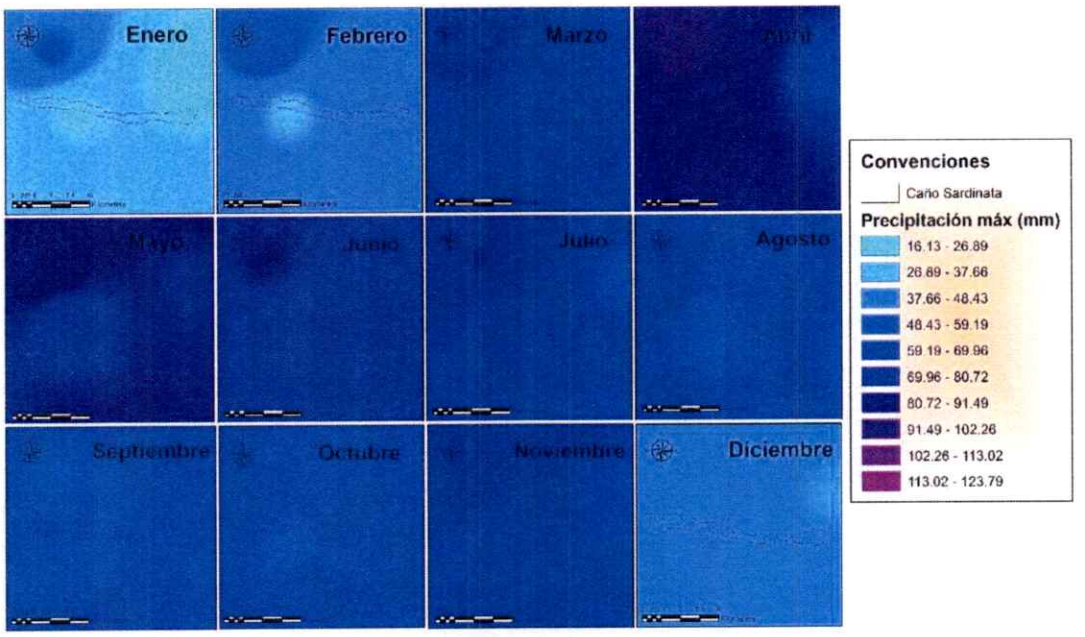
3.2.2. Precipitación máxima en 24 horas

La Figura 3 - 3 muestra el comportamiento espaciotemporal de la precipitación máxima en 24 horas en la microcuenca del Caño Sardinata. Se observa que su distribución espacial mantiene un patrón similar al de la precipitación total, con valores que tienden a incrementarse hacia el noroeste y a disminuir hacia el sureste del área de estudio.

La variable presenta un rango de valores entre 16,13 mm y 123,79 mm, con eventos pico concentrados en los meses de abril a junio, mientras que los registros más bajos se evidencian de diciembre a febrero.

Cabe resaltar que la caracterización específica de esta variable se llevó a cabo con el propósito de establecer las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), fundamentales para el análisis de eventos de precipitación extrema.

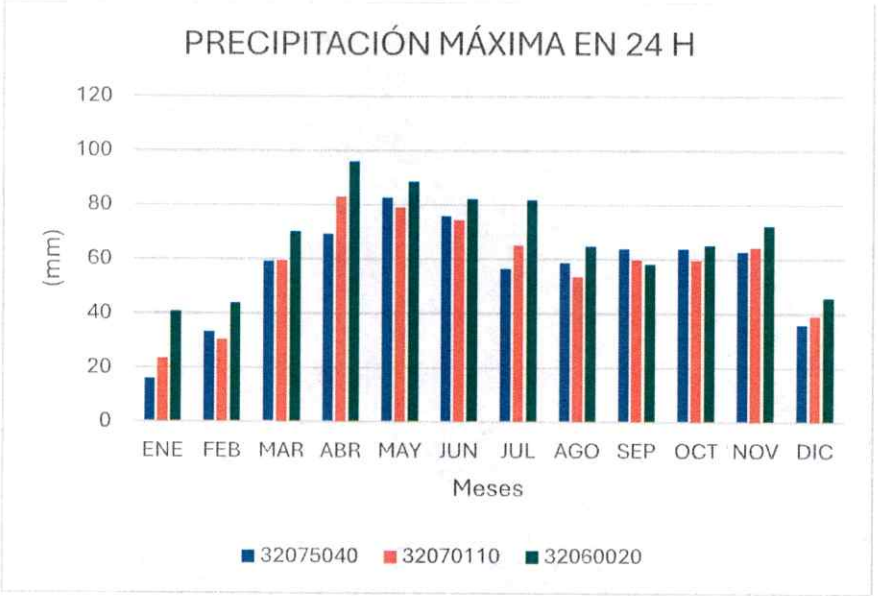
Figura 3 - 3 Distribución espacial de la precipitación máxima en 24 horas en el Área de estudio



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

La gráfica 3 - 39 ilustra la variación de la precipitación máxima diaria mensual registrada en tres estaciones (32075040, 32070110 y 32060020), ubicadas en las cercanías de la microcuenca del Caño Sardinata. Se aprecia un incremento marcado de las precipitaciones entre abril y junio, alcanzando en mayo el valor máximo cercano a 80 mm diarios en las tres estaciones. En contraste, los menores registros se concentran en enero, febrero y diciembre, con valores próximos a 40 mm. Al analizar las diferencias entre estaciones, la 32060020 sobresale por presentar los niveles más altos en la mayoría de los meses, mientras que la 32075040 y la 32070110 mantienen un patrón muy semejante. En términos generales, el promedio multianual de la precipitación máxima diaria mensual se estima en 64,21 mm.

Gráfica 3 - 39 Gráfica de precipitación mensual máxima en 24 horas total



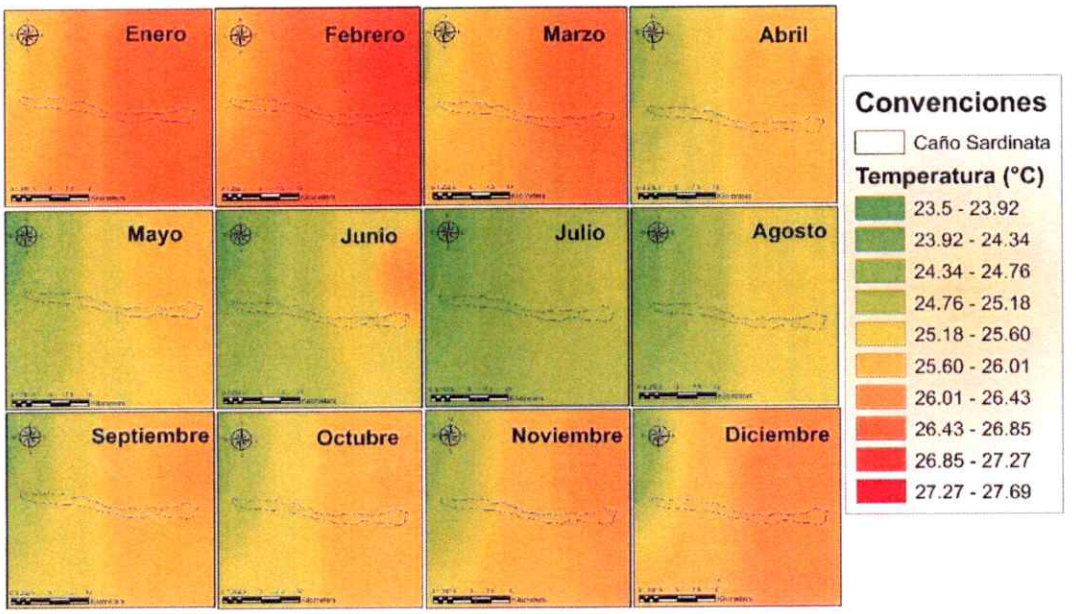
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.2.3. Temperatura media

La Figura 3 - 4 muestra que la variable de temperatura oscila entre 23,5°C y 27,69°C, valores que, según la clasificación del IDEAM, corresponden a una zona de clima cálido. Los periodos con temperaturas más elevadas se registran entre enero a marzo, así como entre noviembre y diciembre. En contraste, las temperaturas más bajas se presentan desde junio a agosto.

Desde el punto de vista espacial, se evidencia una mayor concentración de temperaturas en la zona este de la microcuenca, mientras que los valores más bajos se localizan hacia el oeste, lo cual refleja un comportamiento térmico heterogéneo posiblemente asociado a factores topográficos y de cobertura vegetal.

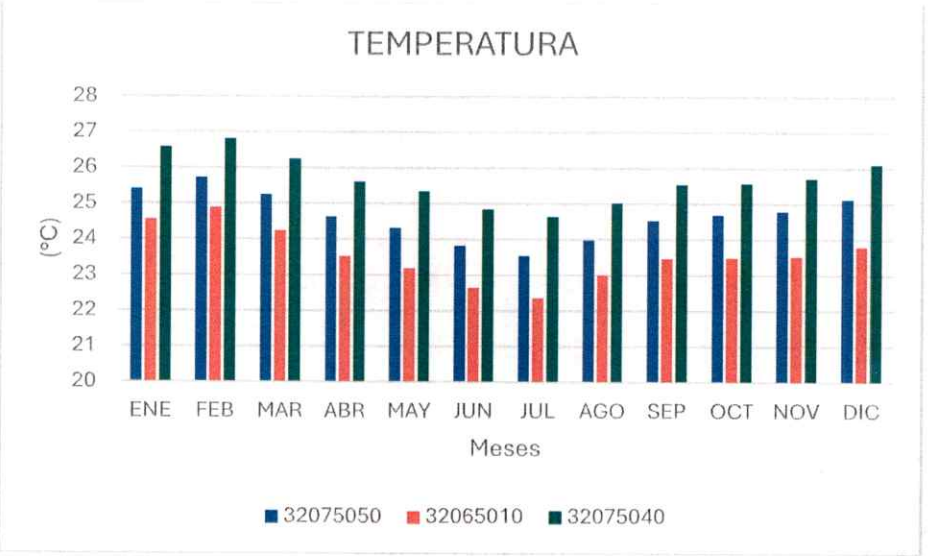
Figura 3 - 4 Distribución espacial de la temperatura media en el Área de estudio



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

La gráfica 3 - 40 representa el comportamiento de la temperatura media mensual en tres estaciones cercanas a la microcuenca del Caño Sardinata (32075050, 32065010 y 32075040). En general, las temperaturas más altas se concentran en los primeros meses del año, especialmente en enero y febrero, mientras que los valores más bajos se presentan hacia mediados de año, con un mínimo en julio cercano a 23 °C. A partir de agosto se inicia una fase de recuperación térmica que se extiende hasta noviembre. Entre las estaciones evaluadas, la 32075040 destaca por registrar consistentemente los valores más elevados, en contraste con las estaciones 32075050 y 32065010, que exhiben una dinámica muy semejante. El promedio multianual de la temperatura media mensual para el conjunto de estaciones es de 24,65 °C.

Gráfica 3 - 40 Gráfica de temperatura mensual total



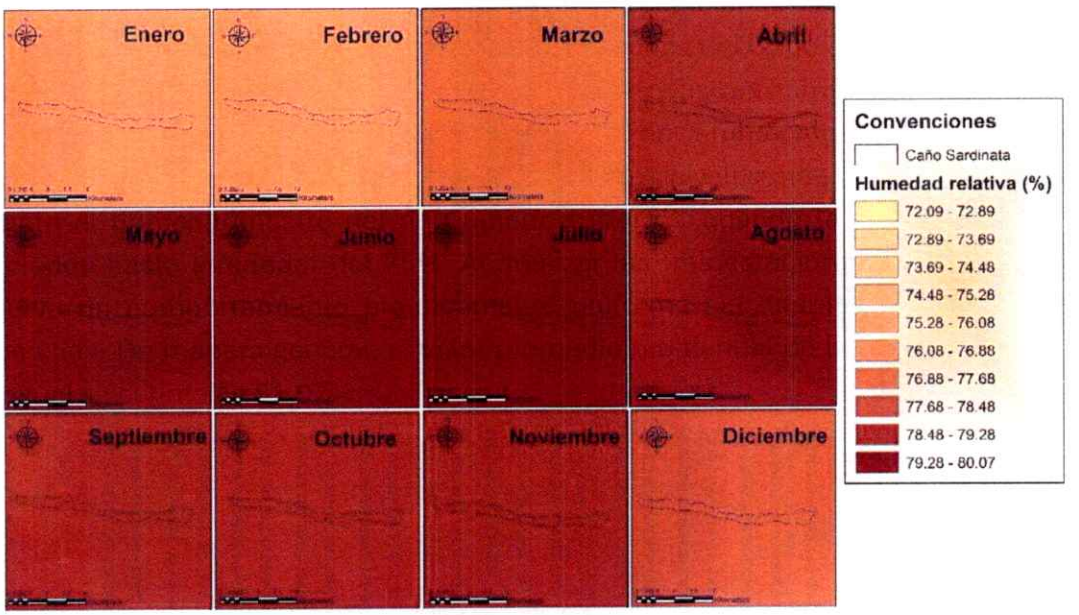
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.2.4. Humedad relativa

La Figura 3 - 5 muestra que la humedad relativa varía en un rango entre 72,09 % y 80,07 %. Los valores más altos se registran entre mayo y agosto. En contraste, los niveles más bajos se presentan durante los meses de enero a marzo febrero, y en diciembre.

Espacialmente, la humedad relativa presenta un comportamiento relativamente uniforme en el área de estudio, a excepción de la zona noreste con mayor humedad en el mes de agosto. Sin embargo, esta aparente homogeneidad podría estar influenciada por la limitada cobertura de estaciones meteorológicas que registran esta variable, lo que dificulta una caracterización detallada de su distribución geográfica a menor escala.

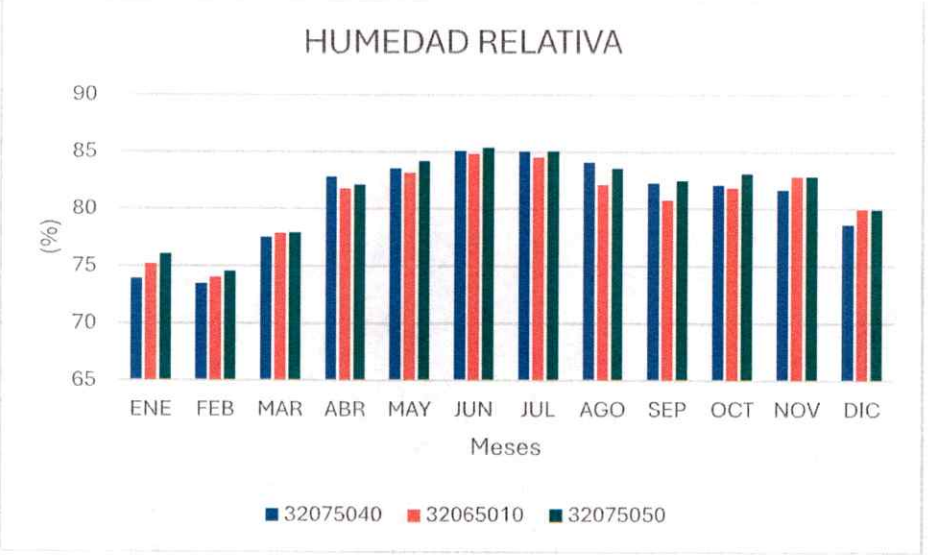
Figura 3 - 5 Distribución espacial de la humedad relativa en el Área de estudio



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

La variación de la humedad relativa mensual en las estaciones 32075040, 32065010 y 32075050 ubicadas en las cercanías de la microcuenca del Caño Sardinata, revela un patrón estacional marcado. Los valores más altos se registran entre mayo y agosto, con un segundo incremento en los meses de octubre y noviembre, alcanzando en ambos casos promedios cercanos al 85%. En contraste, los niveles más bajos se presentan durante el primer trimestre del año (enero a marzo), cuando la humedad relativa desciende hasta alrededor del 75%. Al analizar las tres estaciones en conjunto, se observa un comportamiento prácticamente uniforme sin diferencias significativas entre ellas. De manera general, el valor promedio multianual de la humedad relativa mensual se estima en 81,07%.

Gráfica 3 - 41 Gráfica de humedad relativa mensual total



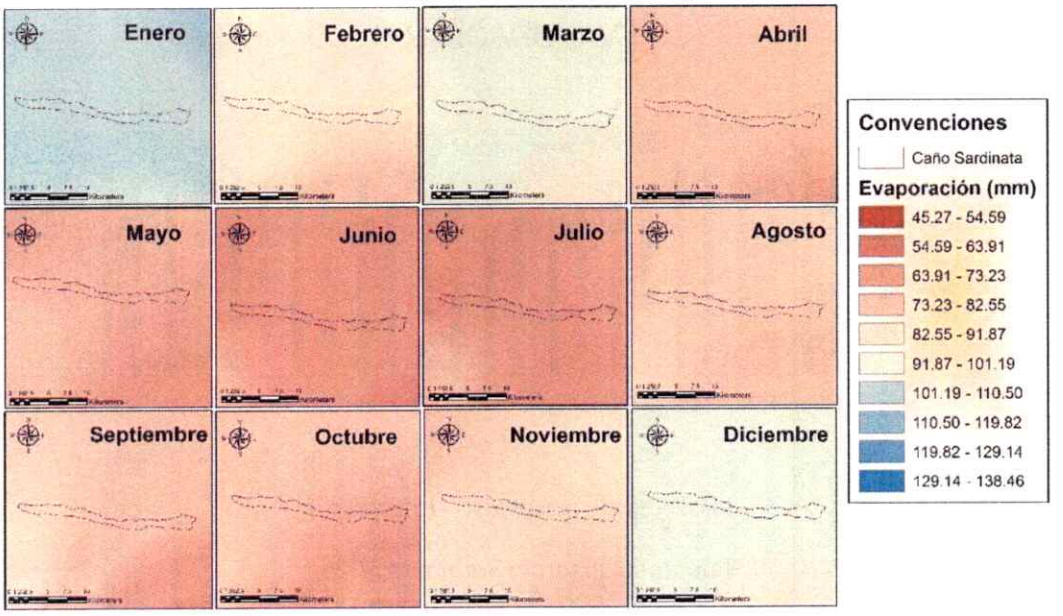
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.2.5. Evaporación

La Figura 3 - 6 muestra que la variable de evaporación presenta una tendencia decreciente entre los meses de abril y julio, lo cual coincide con el periodo de mayores precipitaciones en el área de estudio. Por el contrario, los valores más altos de evaporación se registran durante los meses de enero a marzo y de noviembre a diciembre. El rango de evaporación observado se encuentra entre 45,27 mm y 138,46 mm.

Espacialmente, la variable muestra un comportamiento relativamente homogéneo en la microcuenca, con una tendencia a concentrar mayores valores en la zona sureste del área de estudio. Sin embargo, esta distribución puede estar influenciada por la limitada cobertura de estaciones meteorológicas que registran evaporación, lo cual dificulta una caracterización más detallada a escala local.

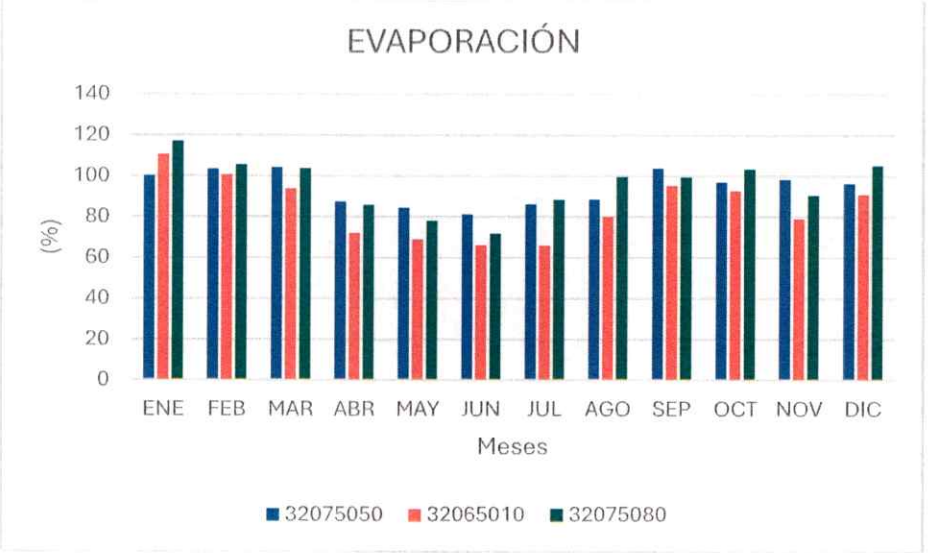
Figura 3 - 6. Distribución espacial de la evaporación en el Área de estudio



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

El análisis de la evaporación total mensual en las estaciones 32075050, 32065010 y 32075080, localizadas en las proximidades de la microcuenca del Caño Sardinata, evidencia una marcada estacionalidad. Los máximos se concentran entre enero y marzo, así como en el bimestre septiembre-octubre, cuando los valores superan los 80 mm mensuales, coincidiendo con las épocas más secas y de mayor temperatura en la región. En contraste, los niveles más bajos se observan de mayo a julio, con registros inferiores a 75 mm, periodo que coincide con la mayor incidencia de precipitaciones. Las tres estaciones analizadas presentan una dinámica muy homogénea, sin diferencias relevantes entre ellas. En términos generales, el valor promedio multianual de la evaporación mensual se estima en 91,65 mm.

Gráfica 3 - 42 Gráfica de evaporación mensual total



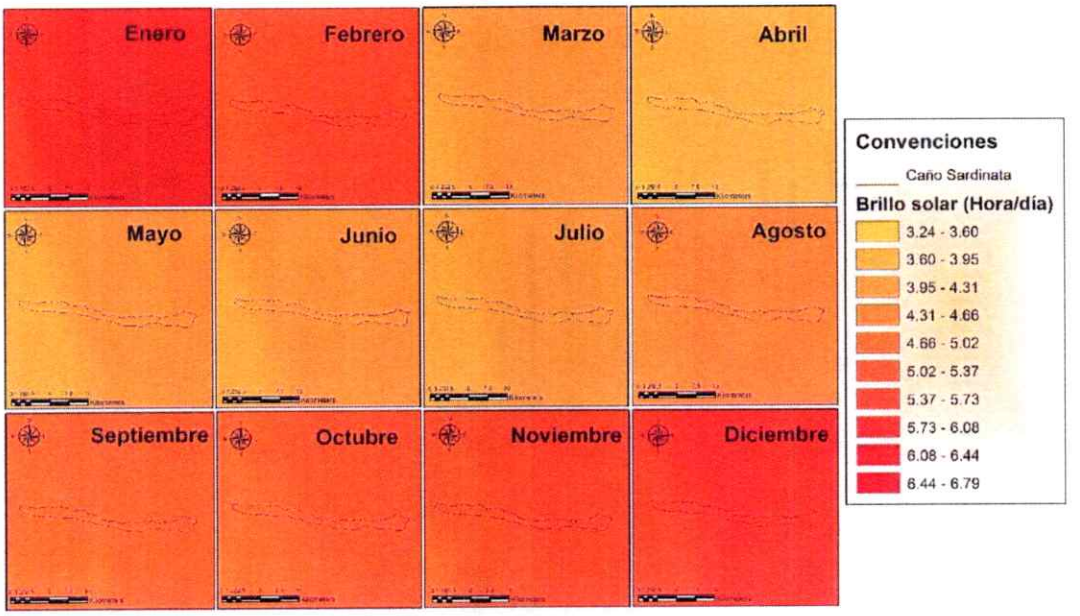
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.2.6. Brillo solar

La Figura 3 - 7 muestra que la variable de evaporación presenta una tendencia decreciente entre los meses de abril y julio, lo cual coincide con el periodo de mayores precipitaciones en el área de estudio. Por el contrario, los valores más altos de brillo solar se registran durante los meses de enero a febrero y de septiembre a diciembre. El rango de brillo solar observado se encuentra entre 3,24 horas y 6,79 horas.

Espacialmente, la variable muestra un comportamiento relativamente homogéneo en la microcuenca, con una tendencia a concentrar mayores valores en la zona sureste del área de estudio. Sin embargo, esta distribución puede estar influenciada por la limitada cobertura de estaciones meteorológicas que registran evaporación, lo cual dificulta una caracterización más detallada a escala local.

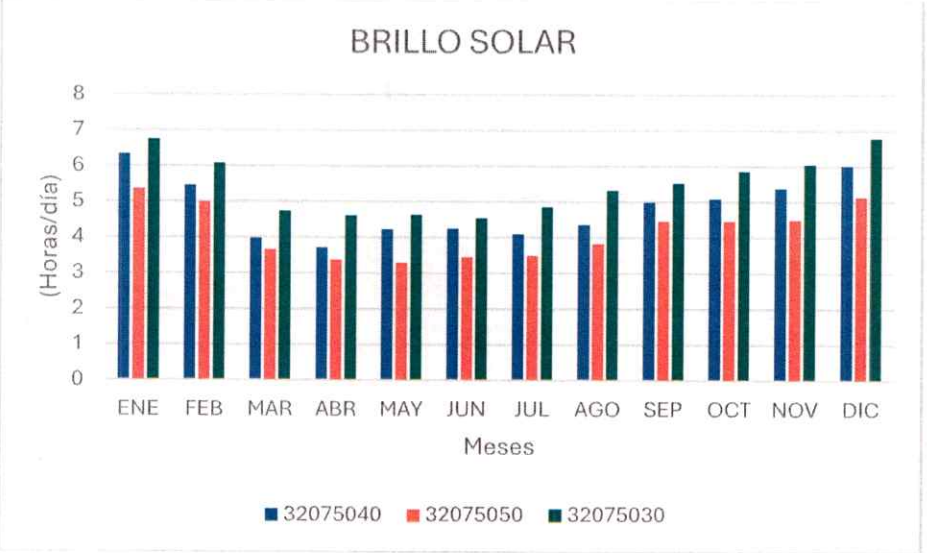
Figura 3 - 7. Distribución espacial del brillo solar en el Área de estudio



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

El análisis del brillo solar mensual en las estaciones 32075040, 32075050 y 32075030, cercanas a la microcuenca del Caño Sardinata, muestra una clara correspondencia con la dinámica climática regional. Durante los meses de enero, febrero y noviembre se registran las mayores disponibilidades de radiación, con promedios cercanos a 5 horas diarias de sol, asociados a condiciones de menor nubosidad y mayores temperaturas. En contraste, entre abril y julio, coincidiendo con la temporada de lluvias más intensas, el brillo solar se reduce notablemente, alcanzando valores inferiores a 3 horas diarias. Al comparar las estaciones, la 32075030 se destaca por registrar los niveles más altos de insolación, mientras que las estaciones 32075040 y 32075050 mantienen un comportamiento muy semejante entre sí. En promedio, el brillo solar multianual para el conjunto de estaciones es de 4,84 horas diarias.

Gráfica 3 - 43 Gráfica de brillo solar mensual total



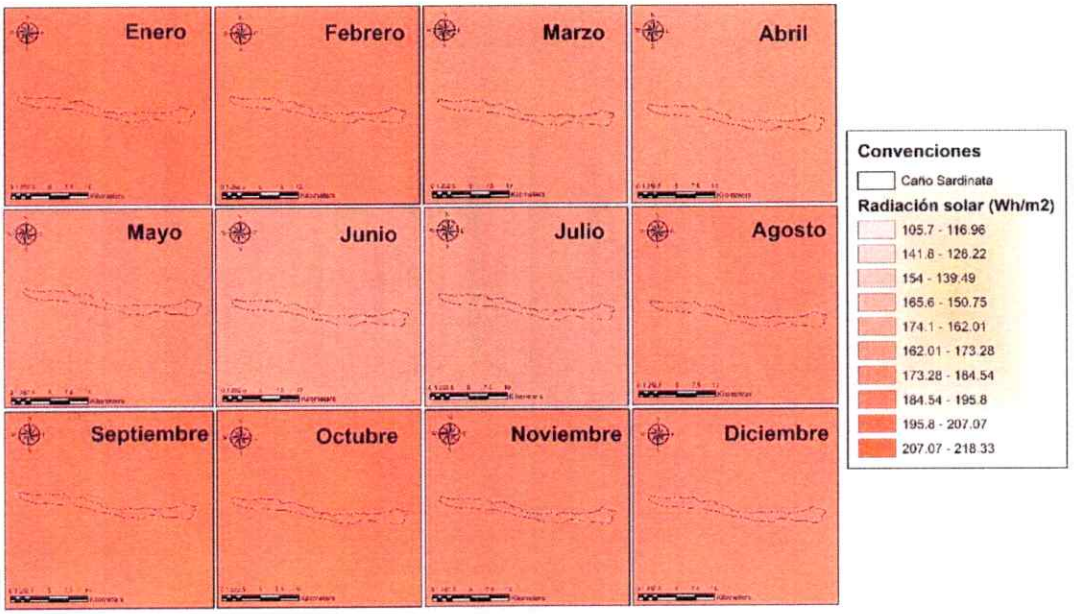
Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.2.7. Radiación solar

La Figura 3 - 8 muestra que la variable de evaporación presenta una tendencia decreciente entre los meses de marzo a julio, lo cual coincide con el periodo de mayores precipitaciones en el área de estudio. Por el contrario, los valores más altos de radiación solar se registran durante los meses de enero a febrero y de septiembre a diciembre. El rango de radiación solar observado se encuentra entre 105,7 Wh/m2 y 218,33 Wh/m2.

Espacialmente, la variable muestra un comportamiento relativamente homogéneo en la microcuenca, con una tendencia a concentrar mayores valores en la zona sureste del área de estudio. Sin embargo, esta distribución puede estar influenciada por la limitada cobertura de estaciones meteorológicas que registran evaporación, lo cual dificulta una caracterización más detallada a escala local.

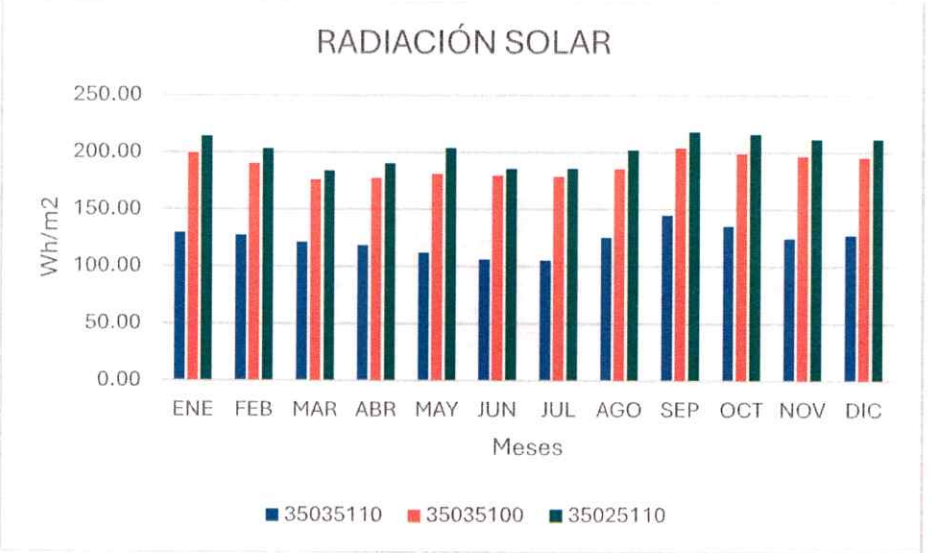
Figura 3 - 8. Distribución espacial de la radiación solar en el Área de estudio



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

El análisis de la radiación solar mensual en las estaciones 35035110, 35035100 y 35025110, ubicadas en las cercanías de la microcuenca del Caño Sardinata, evidencia un patrón estacional marcado. Los valores más altos se concentran en enero y durante el periodo de septiembre a diciembre, aunque en noviembre se presenta una leve reducción. En estos meses, las estaciones 35035100 y 35025110 alcanzan registros superiores a 200 Wh/m^2, mientras que la estación 35035110 apenas llega a 125 Wh/m^2. En contraste, los niveles más bajos de radiación corresponden a los meses de marzo, abril, junio y julio, coincidiendo con las épocas de mayor nubosidad y precipitación. Al comparar las series, se observa que dos estaciones mantienen un comportamiento muy similar, mientras que la 35035110 presenta valores consistentemente más bajos. En conjunto, el promedio multianual de radiación solar mensual se estima en 171,34 Wh/m^2.

Gráfica 3 - 44 Gráfica de radiación solar mensual total



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

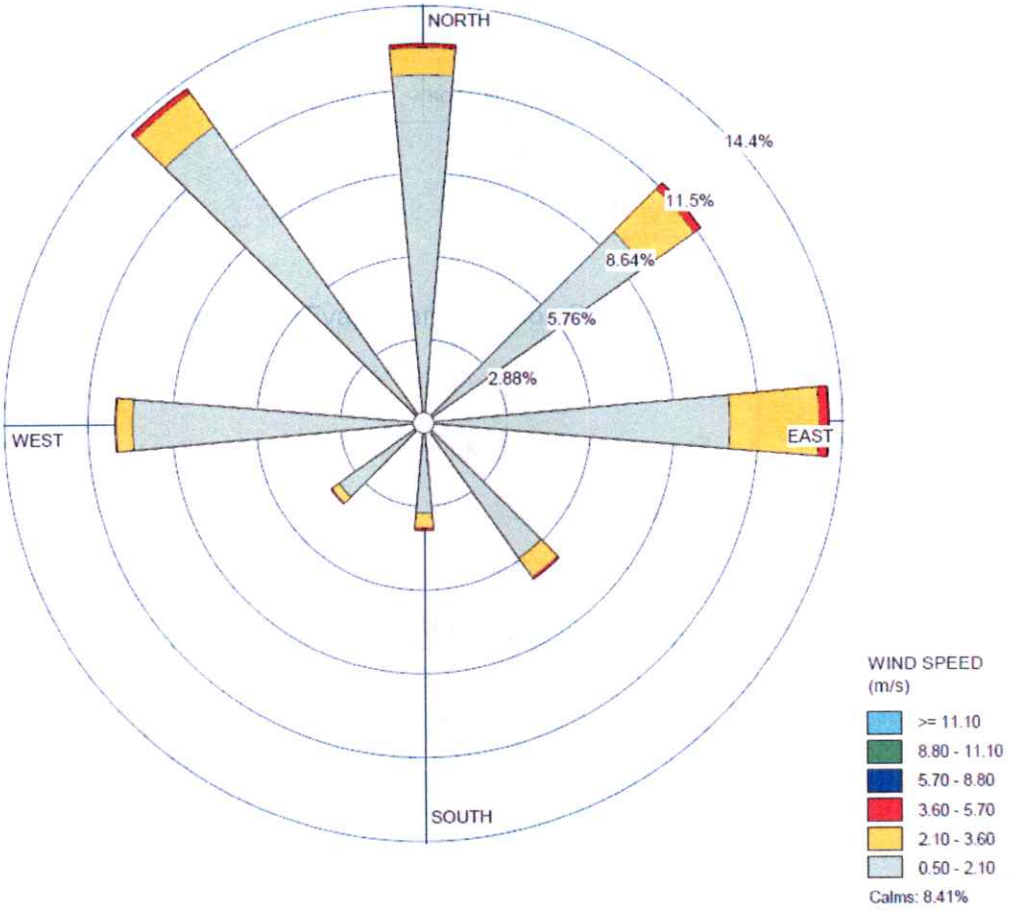
3.2.8. Dirección y velocidad del viento

A continuación, a partir de la dirección y la velocidad del viento se establece la rosa de viento por medio del programa WRPLOT, con la estación Aeropuerto Vanguardia de código 35035020, ubicada en las coordenadas de latitud 4° 9'42.90" Norte y longitud 73°37'3.30" W, a una altura de 420 ms.n.m. Los datos corresponden al periodo comprendido entre 1987 y 2018, en el cual la dirección del viento fue registrada en grados y la velocidad en m/s.

La figura 3 - 9 muestra que los vientos predominantes provienen del Noreste, con una frecuencia del 14,4%, presentando velocidades dominantes en el rango de 2,1 a 3,6 m/s. En segundo lugar, se destaca la dirección Norte con un 11,5%, seguida del Este con 8,64% y del Noroeste con 5,76%. Otras direcciones presentan frecuencias menores, con porcentajes que oscilan entre 2,88% y valores inferiores al 2%.

En cuanto a la intensidad del viento, la mayoría de los registros se concentran en velocidades entre 0,5 y 3,6 m/s, mientras que velocidades superiores a 5,7 m/s son poco frecuentes. Adicionalmente, el porcentaje de calmas es de 8,41%, lo que indica que en ese mismo valor de registros no hubo movimiento significativo del viento.

Figura 3 - 9. Rosa de los vientos con dirección y velocidad del viento en el área de estudio



Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.2.9. Cálculo de Evapotranspiración Potencial (ETP)

El cálculo de la evapotranspiración se realiza con el método de Thornthwaite compuesto de los siguientes pasos: a) cálculo del índice calórico anual con la Ecuación 1 (I), b) estimación de la función compleja de I con la Ecuación 2 (a), c) cálculo de la ETP a partir de los dos anteriores valores y la temperatura media mensual Ecuación 3, d) con la ecuación 4 se realiza la corrección de ETP de acuerdo con la duración del mes y el número de horas de luz teórica, variables en relación a la latitud en que se encuentra la estación meteorológica que ha suministrado los datos.

Ecuación 3 - 1 Cálculo del índice calórico anual

$$I = \left[\left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}\right]$$

Fuente: Montaner Salas & Sánchez, 1998

Dónde: I = Índice calórico anual

Ecuación 3 - 2 Cálculo de la función compleja I

$$a = (675 * 10^{-9}) * I^3 - (771 * 10^{-7}) * I^2 + (179 * 10^{-4}) * I + 0.492$$

Fuente: Montaner Salas & Sánchez, 1998

Dónde: a=Función compleja de I

Ecuación 3 - 3 Cálculo de ETP sin corregir

$$ETP = 16 * \left(\frac{10T}{I}\right)^{a}$$

Fuente: Montaner Salas & Sánchez, 1998

Dónde: ETP = Evapotranspiración potencial media diaria sin ajustar, en mm.

T= Temperatura media mensual (°C)

I = Índice calórico anual

a=Función compleja de I

Ecuación 3 - 4 Cálculo de ETP ajustada

$$[ETP] = ETP * \frac{N}{30} * \frac{H}{12}$$

Fuente: Montaner Salas & Sánchez, 1998

Dónde: [ETP] = Evapotranspiración potencial media diaria ajustada, en mm.

ETP = Evapotranspiración potencial media diaria sin ajustar, en mm.

N= Número de días de mes.

H = Número de horas luz al mes.

A continuación, se presentan los cálculos de ETP, calculados a partir de los datos de temperatura interpolados sobre la unidad hidrográfica de la microcuenca del Caño Sardinata para cada mes.

Tabla 3 - 33 Calculo ETP del Caño Sardinata

Fecha	Temperatura media (°C)	I	I anual	a	ETP sin corrección (mm)	N° de días mes	N° horas luz	ETP Corregida (mm)	
Ene	25.50	11.78			119.97	31	8.35	86.26	
Feb	25.87	12.05			125.61	28	7.58	74.05	
Mar	25.30	11.64			117.00	31	8.47	85.34	
Abr	24.61	11.17			107.23	30	8.28	73.99	
May	24.31	10.96			103.21	31	8.63	76.70	
Jun	23.85	10.65			97.07	30	9.21	74.50	
Jul	23.64	10.50			94.36	31	8.64	70.21	
Ago.	24.12	10.83			100.61	31	8.58	74.33	
Sep.	24.63	11.18			107.56	30	8.23	73.77	
Oct	24.70	11.23			108.48	31	8.43	78.75	
Nov	24.79	11.29			109.68	30	8.08	73.85	
Dic	25.14	11.53	134.81	3.16	114.68	31	8.33	82.26	924.01

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.2.10. Cálculo de evapotranspiración real (ETR)

Teniendo en cuenta los cálculos de ETP, la precipitación y una reserva teórica de 100 mm/mes en el suelo, se calcula la ETR microcuenca del Caño Sardinata. El cálculo se inicia a partir del mes con mayor precipitación para cada estación.

Tabla 3 - 34. Calculo ETR del Caño Sardinata

Fecha	Precipitación (mm)	ETP (mm)	PP - ETP (mm)	Reserva (mm)	Variación de la reserva (mm)	ETR
Mayo	458.06	76.70	381.36	100.00	0.00	76.70

Fecha	Precipitación (mm)	ETP (mm)	PP - ETP (mm)	Reserva (mm)	Variación de la reserva (mm)	ETR
Junio	384.14	74.50	309.64	100.00	0.00	74.50
Julio	334.06	70.21	263.86	100.00	0.00	70.21
Agosto	262.44	74.33	188.11	100.00	0.00	74.33
Septiembre	251.33	73.77	177.57	100.00	0.00	73.77
Octubre	271.83	78.75	193.08	100.00	0.00	78.75
Noviembre	245.61	73.85	171.76	100.00	0.00	73.85
Diciembre	105.00	82.26	22.74	100.00	0.00	82.26
Enero	68.32	86.26	-17.95	82.05	-17.95	68.32
Febrero	94.07	74.05	20.02	100.00	17.95	74.05
Marzo	230.52	85.34	145.19	100.00	0.00	85.34
Abril	417.52	73.99	343.53	100.00	0.00	73.99

Fuente: Consorcio Sardinata 2025.

3.3. Balance hídrico

El balance hídrico es una herramienta que permite estimar las ganancias de agua por lluvia o riego y las pérdidas por evaporación, escorrentía, drenaje profundo y la variación del almacenamiento de agua en el suelo. Conocer el balance hídrico de un área permite determinar, la disponibilidad del recurso hídrico y la magnitud macro climática de los períodos con exceso o deficiencia de agua en una unidad de trabajo sometida a estudios agroclimáticos e hidro climáticos. Existen diversos métodos para estimar estas variables de interés hidro climático. Entre ellos se encuentra el método de Thornthwaite el cual emplearemos en el presente trabajo (CAR et al.2019).

Ecuación 3 - 5. Balance hídrico

$$P=ET+E+I+\Delta HS$$

Fuente: IDEAM, 2014

En donde:

P= Precipitación

ET= Evapotranspiración

E= Evaporación

I= Infiltración

ΔHS= Cambio en la humedad del suelo.

A continuación, se analizan individualmente cada uno de los parámetros que componen el balance hídrico climático (CAR et al.2019):

- **P:** Precipitación (en mm/unidad de tiempo). Es un parámetro experimental que se debe medir en estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio. Si esto no es posible, se usan valores tomados de estaciones ubicadas en zonas cercanas y de similares características orográficas y meteorológicas a las de la zona de estudio.

- **ETP:** Evapotranspiración Potencial calculada por el método de Thornthwaite. Dicho parámetro representa en el balance las salidas o consumos de agua en la reserva del suelo.

- **PREC-ETP:** Representa el balance de entradas y salidas de agua en el suelo, si el valor obtenido es positivo se considera un mes húmedo si por el contrario el valor obtenido es negativo hace referencia a un mes seco.

- **ALM:** Hace referencia al almacenamiento de agua que se presenta en el suelo. Cuando en un mes se tengan más entradas que salidas es decir que la precipitación sea mayor que la evapotranspiración el agua que no se consume pasa a formar parte del almacenamiento, pero si este ha llegado a su máxima capacidad, el agua sobrante generará excesos en forma de escorrentía o percolación. Si por el contrario las salidas son mayores que las entradas el agua almacenada en el suelo se reduce hasta llegar a su valor límite que es de 0mm. La reserva es calculada como se muestra a continuación

Ecuación 3 - 6 Ecuación de almacenamiento hídrico

$$Ri\text{-}1+(Pi\text{-}ETi) \text{ si } 0< Ri\text{-}1+(Pi\text{-}ETi) <Rmáx$$

$$Ri= \ Rmáx \text{ si } Ri\text{-}1+(Pi\text{-}ETi) >Rmáx$$

$$0 \text{ si } 0> Ri\text{-}1+(Pi\text{-}ETi)$$

Fuente: IDEAM, 2010

Nota: Reserva del mes "i" y del mes anterior "i-1"

De acuerdo con Claro, 2016 cuando los balances se extrapolan a grandes zonas donde la capacidad de almacenamiento es imposible de determinar por las variaciones de este, se puede establecer un valor fijo. El valor más utilizado corresponde a 100 mm, acorde a lo presentado en el capítulo 3.1.3.3 del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca - POMCA Río Guavio (CAR et al.2019).

- **ΔALM:** Variación en el almacenamiento y es igual al almacenamiento del mes actual menos el almacenamiento del mes anterior.