

Guía para agricultores:

Monitoreo local de clima mediante nano computadoras



Monitoreo local de clima mediante nano computadoras

Guía para agricultores

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - Bolivia

Contribución al Programa y documento

Equipo IICA- Bolivia

Bruno Condori Ali
Fernando Aramayo
Fabiana Paz
Juan José Dorado
Horacio Ramirez
Milenka Betancourt
Marco Farias
Francois Rebaudo (IRD)
Santiago Velez

Productores de los Cintis

Jhon Flores
Behimar Silva
Porfidia Ovando y Rolando Ortega (hijo)
Arcadio Retamozo
Vicente Anachuri y Beimar Anachuri (hijo)
Omar Ortega
Ariel mancilla
Julian Gallardo y Mary Luz Gallardo (hija)
Gregorio Carvajal y Niltom Carvajal (hijo)
Inocencio Pua

Prólogo

Un problema latente en los municipios priorizados en el marco de la iniciativa INNOVA AF en Bolivia, son los riesgos climáticos, que afectan frecuentemente a estas regiones, especialmente sequías y granizadas. La agricultura está siendo impactada en estas regiones por cambios graduales en el clima que afectan considerablemente a la producción agrícola, entre estos: el incremento de las temperaturas ambientales promedio, el cambio del ciclo de las lluvias y el incremento de concentración de gases de efecto invernadero. El monitoreo ambiental a nivel de las parcelas productivas resulta fundamental para relacionar y describir el desarrollo de los cultivos, de sus plagas y enfermedades y el manejo agronómico de los mismos. Un monitoreo adecuado de estas variables en las unidades productivas rurales puede permitir una mejora en los niveles de toma de decisión para acciones de producción o desarrollo de acciones climáticamente inteligentes, lo cual contribuirá a la resiliencia de los productores y de sus sistemas de producción frente a los efectos de la variabilidad y cambio climático.

Una alternativa para el monitoreo y registro local de información climática es el uso de dispositivos de bajo costo y portabilidad que permitan medir las condiciones ambientales a nivel de parcela. Este tema fue abordado por la iniciativa INNOVA AF en Bolivia, mediante un piloto de instalación de nano computadoras en campo para medición de variables climáticas.

Este proceso se constituyó en un hecho sin precedentes en Bolivia y en un hito muy significativo, considerando que a partir de esta experiencia se prevé que podrían escalarse acciones más allá de la vida del Programa, sumando acciones para profundizar el uso de tecnología para medición de variables climáticas por parte de pequeños productores. La instalación de estos equipos es uno de los aportes y legados más importantes del Programa INNOVA AF en Bolivia, que permitió conjugar saberes ancestrales con saberes científicos, fomentando el diálogo entre agricultores jóvenes y mayores.

El presente Manual describe los detalles técnicos sobre la implementación de esta tecnología y la información necesaria para que agricultores puedan familiarizarse con el uso de las nano computadoras y la información que se genera a partir de éstas. Este manual podrá ser de utilidad también para técnicos, investigadores y estudiantes.

El Manual está estructurado en cinco secciones, describiendo en la primera parte los aspectos generales relacionados al Programa INNOVA AF. La segunda sección presenta información sobre variabilidad y cambio climático y la importancia de desarrollar herramientas para los agricultores, para la toma de decisiones, complementando en la tercera sección con una explicación acerca de la localización del Programa.

La cuarta sección del documento tiene un enfoque más técnico y se enfoca en distintos aspectos que describen el monitoreo local de clima a través de las nano computadoras, proveyendo detalles sobre el ensamblaje de los equipos; la descripción del software y estructura de transmisión de información; las formas de ingresar al sitio web del Programa; el acceso a funcionalidades del sitio; las formas de visualización de la información almacenada; los procedimientos de descarga de datos; y las herramientas previstas para la visualización rápida de datos climáticos en tiempo real. En la quinta y última sección, se presentan avances y reflexiones para el desarrollo de un futuro sistema básico de alerta local.

Esperamos que este Manual sea de utilidad para los usuarios, y que contribuya al importante reto de mejorar los niveles de aplicación de tecnología en el área rural para fortalecer las capacidades productivas de la agricultura familiar y sus mecanismos de resiliencia y adaptación frente a los efectos del cambio climático.



Tabla de contenido

Prólogo.....	I
Tabla de contenido.....	II
1. Ejecución del Programa INNOVA Agricultura Familiar en Bolivia	1
2. Variabilidad y cambio climático: la importancia de desarrollar herramientas para los agricultores, para la toma de decisiones.....	2
3. Localización del Programa	4
4. Monitoreo local de clima a través de nano computadoras	6
4.1 Ensamblaje de las nano computadoras; sensores y paneles solares.....	6
4.2 Software y estructura de transmisión de información	11
4.3 Ingreso al sitio web del proyecto PI2P-IRD.....	12
4.4 Acceso a funcionalidades generales del sitio PI2P-IRD.....	14
4.5 Visualización de la información almacenada	15
4.6 Descarga de datos	20
4.7 Visualización rápida de datos climáticos en tiempo real	21
7. Avances y reflexiones para el desarrollo de un futuro sistema básico de alerta local (SAL).....	24
8. Referencias bibliográficas.....	26



1. Ejecución del Programa INNOVA Agricultura Familiar en Bolivia

El Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) y el IICA, suscribieron un Acuerdo de Donación para la ejecución del Programa “Gestión del conocimiento para la adaptación de las agriculturas familiares al cambio climático”, INNOVA AF. El objetivo fue fortalecer las capacidades de familias campesinas pobres, integrantes de sistemas territoriales de agricultura familiar con baja resiliencia actual ante los impactos del cambio climático, en territorios semi-áridos y sistemas de montaña para participar activamente en procesos de transformación rural en ALC conociendo, valorando, adaptando e implementando buenas prácticas de territorios con condiciones biofísicas y socioeconómicas similares.

En el marco de dicho acuerdo, se ejecutó en Bolivia, entre los años 2020 a 2022, la iniciativa “Gestión del conocimiento para promover el desarrollo de organizaciones de la agricultura familiar de la región de los Cintis en el departamento de Chuquisaca, buscando implementar tecnologías de adaptación al cambio climático”, teniendo como objetivo general fortalecer la gestión del conocimiento de organizaciones de la agricultura familiar mediante el mejoramiento de capacidades en tecnologías adaptativas ante el cambio climático.

Esta iniciativa se concentró en cuatro objetivos específicos: (1) facilitar el intercambio de conocimientos mediante sesiones de formación dirigidas a organizaciones de agricultores de los municipios de Camargo, Culpina e Incahuasi; (2) establecer un piloto de implementación de nano computadoras en campo, como mecanismo que apoye a la medición de variables climáticas en las parcelas de productores; (3) organizar un foro nacional sobre cambio climático y su impacto en la agricultura, con la finalidad de conocer el estado situacional de la problemática y difundir los alcances y avances del Programa; y (4) sentar las bases para la conformación de un entorno de discusión e intercambio de conocimiento a través de una plataforma interinstitucional enfocada en temas de cambio climático y agricultura, en función de las prioridades y lineamientos que determinen las autoridades del país.



2. Variabilidad y cambio climático: la importancia de desarrollar herramientas para los agricultores, para la toma de decisiones.

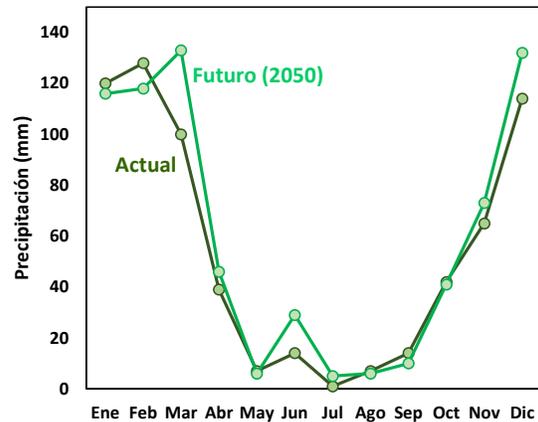
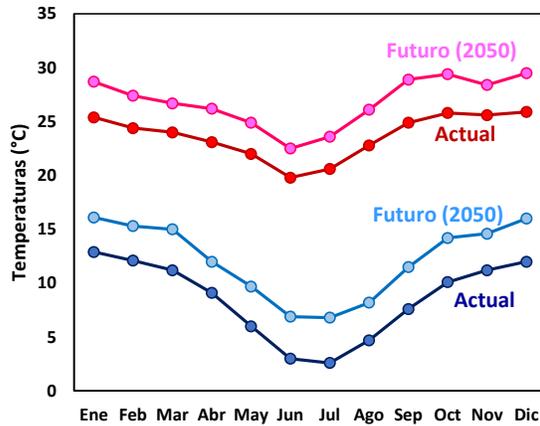
La variabilidad y el cambio climático van afectando a la agricultura, notándose mayor presencia de fenómenos climáticos extremos en frecuencia e intensidad y el ascenso gradual de las temperaturas promedio. Las parcelas de los productores son directamente afectadas ya que en su mayoría se trata de cultivos en secano; es decir que su producción agrícola es dependiente exclusivamente de la cantidad de lluvias durante el periodo de cultivo.

La región de los Cintis, en el Departamento de Chuquisaca conformada, entre otros, por los Municipios de Incahuasi, Culpina y Camargo, representa una de las zonas de mayor importancia en la producción de alimentos para el país. Algunos de los principales productos provenientes de estos valles bolivianos son la manzana, durazno, flores, maíz, papa y cebolla, entre algunos; constituyéndose esta región en un bastión productivo de sustancial relevancia para la seguridad alimentaria nacional.



La agricultura familiar practicada en los valles de los Cintis es una de las actividades más susceptibles y vulnerables a la variabilidad climática; de hecho, el daño ocasionado por las heladas y sequías pueden generar pérdidas estimadas entre 40 y 100% de la cosecha, dependiendo del estado de desarrollo del cultivo, variedad o genética de la planta; y de la frecuencia, intensidad y severidad del evento meteorológico.

Las variaciones históricas del clima, respecto a las condiciones climáticas actuales, crean confusión en los agricultores, quienes estaban habituados a ciertos patrones climáticos de lluvias y temperaturas. Estos cambios generan mucha dificultad al momento de elegir las mejores prácticas agrícolas para un buen desempeño de sus cultivos y su productividad; así como elegir la fecha de siembra y el tipo de variedad a cultivar. En las siguientes figuras podemos apreciar las tendencias de cambio de precipitaciones y lluvias durante el año en el municipio de Incahuasi:



En el gráfico anterior de la izquierda, se describen temperaturas mínimas promedio (tonos azul y celeste) de 8.5°C y temperaturas máximas promedio de 23.7°C (tonos rosado y rojo), con precipitaciones promedio de 651 mm acumuladas anualmente. La variabilidad interanual se define con temperaturas mínimas extremas promedio de 2.6°C en el mes de julio y con extremas máximas promedio de 25.9°C en el mes de diciembre.

En el gráfico de la derecha se describen las precipitaciones en el Municipio de Incahuasi. El mes más seco es julio con 1 mm, y el mes más lluvioso es febrero con 128 mm. La línea de color verde claro representa proyecciones al 2050 en un escenario RCP 8.5, donde se aprecia cambios de aproximadamente 2,6°C, y un incremento acumulado de más de 60 mm anuales (Fick and Hijmans, 2017).

Bolivia tiene una gran extensión territorial de más de 1 millón de km², esto contrasta con la poca información climática básica disponible como para desarrollar herramientas de acción climática para la agricultura. Las estaciones del servicio nacional de meteorología del país son escasos y están distribuidos en sitios representativos, lo que dificulta el acceso a información local cercana a las parcelas productivas para el desarrollo de sistemas de toma de decisión y alerta temprana. Una alternativa para contar con información climática es a través de datos satelitales, pero esta se genera a gran escala y no refleja las condiciones locales que el productor requiere.

Dado este contexto, resulta de suma importancia la información climática local como para encarar programas de adaptación frente al cambio y la variabilidad climática, y el desarrollo de herramientas para la toma de decisión por parte de los agricultores.

En este marco, el Programa INNOVA AF propuso como base y a nivel de piloto, la implementación de nano computadoras en parcelas de agricultores para la generación de información climática local e interpretación básica por parte de los productores como acción inicial hacia el posible desarrollo de sistemas de alerta temprana, en perspectiva. Esto podría sentar las bases para desarrollar a futuro, y



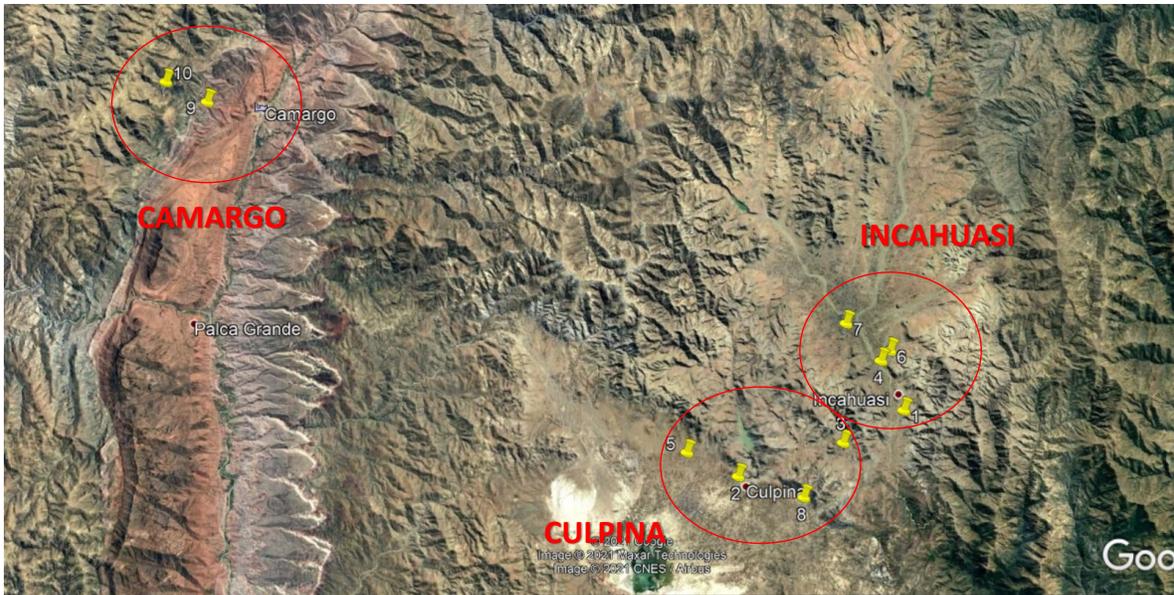
a través de otras iniciativas y proyectos, herramientas de toma de decisión necesarias para enfrentar al cambio y la variabilidad climática.

El Programa dejó una serie de lecciones aprendidas muy relevantes en cuanto al complejo proceso de implementar y probar nuevas tecnologías en campo, lo cual podrá ser de utilidad para futuras intervenciones que permitan profundizar avances en beneficio de los productores de los Cintis y de otras regiones del país.

3. Localización del Programa

El Programa desarrolló acciones en los valles de los Cintis en Chuquisaca, Bolivia, en los municipios de Culpina, Incahuasi y Camargo en 10 comunidades distribuidas representativamente según vocación productiva y con base a elección participativa con los beneficiarios representados mediante las asociaciones de productores presentes en la zona. En los siguientes mapas se presenta la ubicación del Programa:





A continuación, se presenta información complementaria de los beneficiarios directos del Programa quienes tienen en custodia e instaladas en sus parcelas las nano computadoras, precisando los municipios a los cuales corresponden, el nombre de la localidad, ubicación geográfica y altitud, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Nano	Responsable	Municipio	Localidad	Latitud S.	Longitud O.	Altitud
1	Vicente Anachuri	Incahuasi	Pueblo Bajo	-20.79333	-64.86667	2915
2	Gregorio Carvajal	Culpina	La Banda Alta	-20.82694	-64.95389	2956
3	Julian Gallardo	Culpina	Charcoma	-20.83694	-64.91917	2957
4	Porfidia Ovando	Incahuasi	Banda B	-20.76889	-64.87889	2925
5	Ariel Mancilla	Culpina	Sajlima	-20.81528	-64.98111	2945
6	Omar Ortega	Incahuasi	Los Alamos	-20.76389	-64.87417	2932
7	Arcadio Retamozo	Culpina	Sulltaca	-20.75056	-64.89750	2946
8	Inocencio Pua	Culpina	San Lorenzo	-20.80972	-64.89861	2972
9	Beymar Silva	Camargo	Thota	-20.64305	-65.23861	2686
10	Jhon Flores	Camargo	Churo	-20.63389	-65.25917	3196

Varios agricultores delegaron la interacción con los hijos, así el caso de Vicente Anachuri que delegó a su hijo Beimar Anachuri; Gregorio Carvajal a su hijo Niltom Carvajal; Porfidia Ovando a su hijo Rolando Ortega; y Julián Gallardo a su hija Mari Luz Gallardo. Este relevo espontaneo generó un mayor dinamismo en las interacciones entre el equipo técnico del IICA y los beneficiarios, abriéndose una relación más fluida para la implementación y evaluación de la tecnología.

4. Monitoreo local de clima a través de nano computadoras

El monitoreo local de clima establecido en el Programa se realizó por medio de un sistema de componentes y acciones según la siguiente secuencia:

- Ensamblaje de las nano computadoras y sensores/Hardware (4.1);
- Software y estructura de transmisión de información: programación de algoritmos para lectura y registro de datos por la nano computadora (4.2).

Estas dos primeras etapas componen la base local de equipamiento y programación que permite el registro y transmisión de datos.

Las siguientes etapas tienen una utilidad directa para el usuario agricultor o técnico según su interés.

- Ingreso al sitio web del proyecto PI2P-IRD: Ingreso a la plataforma web del socio colaborador del Programa (ird de Francia);
- Acceso a funcionalidades del sitio PI2P-IRD: acceso a los datos climáticos de las nano computadoras (4.4);
- Visualización de la información almacenada (4.5);
- Descarga de datos (4.6).
- Visualización rápida de datos climáticos en tiempo real (4.7).

4.1 Ensamblaje de las nano computadoras; sensores y paneles solares.

Los equipos fueron ensamblados de acuerdo con los materiales disponibles en el mercado. A continuación, se ven las imágenes de las partes necesarias para el ensamblado de los equipos:



El principal componente es el nano computador de la versión Raspberry Pi 3 Model B+. A continuación, se detallan las características que posee:



- CPU + GPU: **Broadcom BCM2837B0**, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- RAM: **1GB** LPDDR2 SDRAM
- Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE
- Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)
- GPIO de 40 pines
- HDMI
- 4 puertos USB 2.0
- Puerto CSI para conectar una cámara.
- Puerto DSI para conectar una pantalla táctil
- Salida de audio estéreo y vídeo compuesto
- Micro-SD
- Power-over-Ethernet (PoE)
- Sensores para monitoreo de temperatura, humedad relativa, presión barométrica.

A los anteriores se sumaron el panel solar y las placas GPRS o routers, según las características de acceso a datos en cada sitio donde se instalaron los equipos. Las siguientes imágenes describen estos componentes adicionales:



Para proteger a la nano computadora y sensores de la insolación directa o de la lluvia, se fabricaron coberturas por medio de impresiones 3D, tal como se puede ver en la siguiente fotografía:



Paneles solares incorporados como fuente de energía de las nano computadoras.

Como parte de las innovaciones tecnológicas del Programa, se instalaron paneles solares en las parcelas de los agricultores, eliminando de esa manera el sistema de alimentación eléctrica con el que funcionaban y asegurando el funcionamiento permanente y sostenible de las nano computadoras instaladas en la región de los Cintis.

Si bien las nano computadoras instaladas en distintas parcelas de la región de los Cintis no generan elevados niveles de consumo de electricidad, se vio conveniente innovar el funcionamiento de estos equipos, por medio de la incorporación de estos paneles que operan con batería de litio.

La batería toma un tiempo de carga de 4 a 6 horas para completar su completa carga (100%). En cuanto al tiempo de duración de la batería, éstas pueden durar autónomamente entre 16 a 18 horas sin conexión directa al panel solar, lo que asegura brindar energía en condiciones de nubosidad.

Se fabricó una estructura metálica para la instalación del panel, batería y nano computadora. Se decidió optar por una estructura única para portar los tres componentes señalados.





Estructura de seguridad para proteger la batería y permitir un fácil manipuleo de cableado

Los paneles solares están orientados al norte geográfico en cada parcela para una mayor captación de rayos solares desde el inicio del día hasta el ocaso; y un ángulo de inclinación de 45° aproximadamente. Complementario a esto, en cada punto se recopiló la información de altitud en metros sobre el nivel del mar, coordenadas geográficas como latitud sur y longitud oeste.

Los agricultores, además de apoyar en el proceso de colocado de los soportes, también facilitaron envases de aceite usados, cortándolos a medida y colocándolos como cubiertas de protección de las baterías de los paneles solares, contra el agua, viento y radiación solar. Se contempló también el entrenamiento a los agricultores en el encendido de la batería del panel solar, el control de capacidad de carga y el cuidado de los equipos en general.

Haciendo monitoreos posteriores en terreno, se pudo determinar que, durante el día, las baterías logran recargarse entre el 95 al 100% (FULL) de su capacidad. Durante la noche, la carga rebaja hasta el 65 y 70%, lo que significa que el consumo de energía durante la ausencia de sol por parte de la nano computadora y router es de entre 35% a 30% de la energía. Los valores de reserva de energía en las baterías dan un margen de autonomía mayor al de un día, en el caso de una conexión fallida al panel, aspecto que normalmente no debería ocurrir.

Esta innovación permite fortalecer aún más la implementación de nano computadoras como herramientas de utilidad para la medición de variables climáticas, proporcionando mayor sostenibilidad en su uso como instrumentos amigables con el medio ambiente.

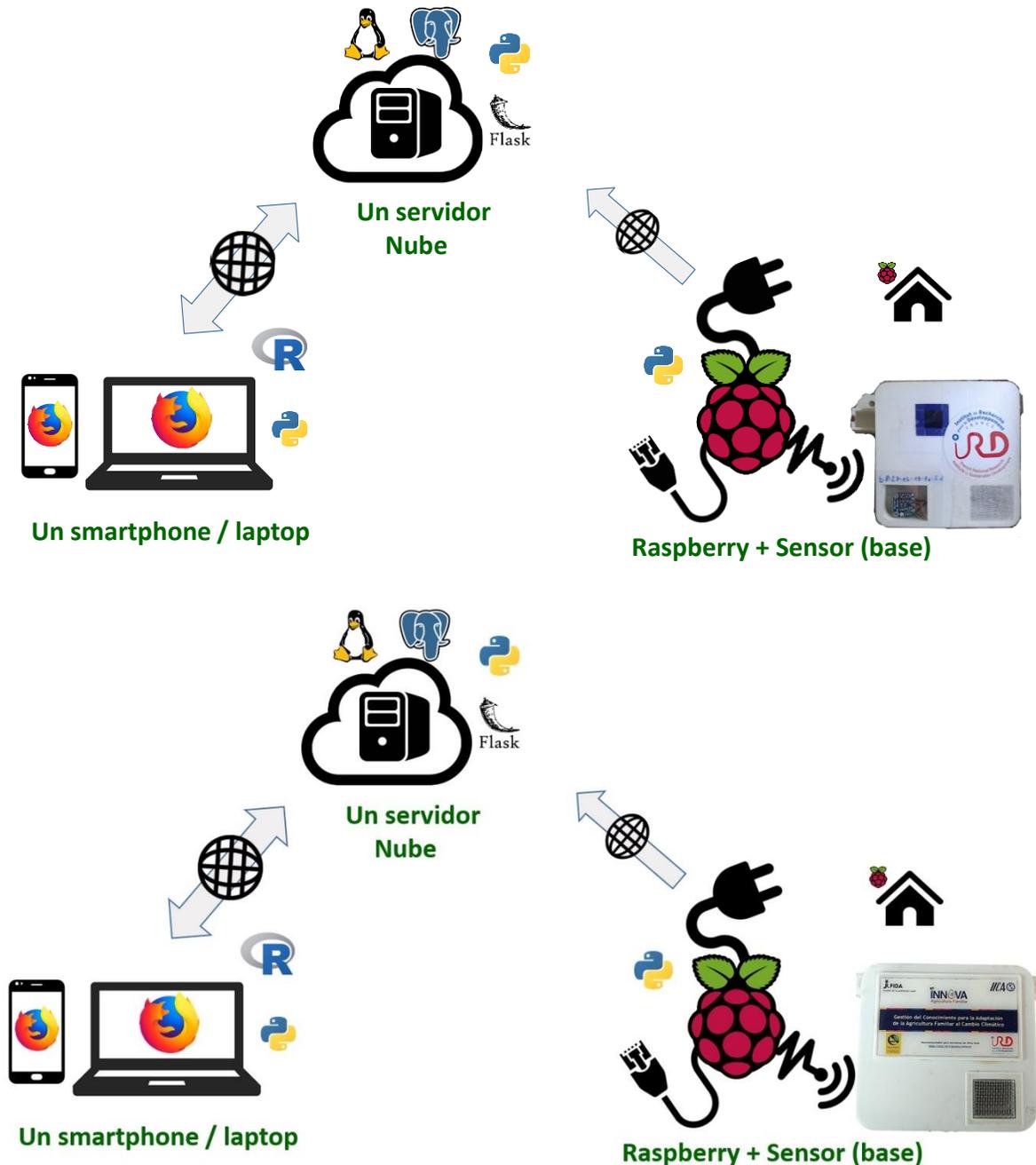


Nano computadora transmitiendo información aprovechando la energía solar almacenada durante el día.

4.2 Software y estructura de transmisión de información

La programación fue elaborada en programas de acceso abierto por el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) y se encuentra disponible con todo detalle en la publicación de Rebaudo et al (2022).

En cuanto a la estructura de transmisión de información, esta inicia con el registro de datos en el sensor DHT22 (temperatura y humedad relativa), y almacenamiento en el MicroSD y también enviada a un servidor, a partir del cual es retransmitido a cualquier dispositivo con conexión a internet (laptop, celular, tablet, etc). El modelo de estructura de transmisión se presenta en el siguiente gráfico:



Todo el detalle de la estructura informática se encuentra ampliamente desarrollado en el documento de Rebaudo et al (2022).

4.3 Ingreso al sitio web del proyecto PI2P-IRD

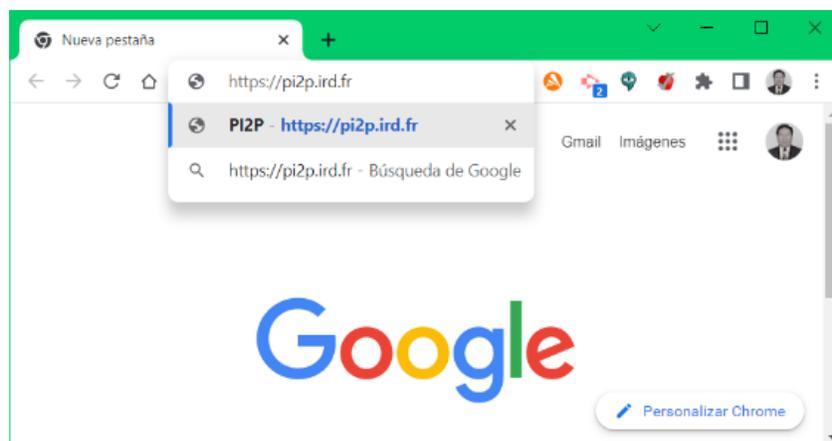
Los datos registrados por las nano computadoras están almacenados en el servidor del IRD que, como agencia francesa de investigación para el desarrollo, brinda un soporte de larga duración. El proyecto Predicting Insect Pest Phenology (PI2P) del IRD, ha asignado un espacio propio en su servidor para la gestión de la información del Programa INNOVA AF. Se utiliza por tanto, el sitio PI2P-IRD para acceder, visualizar y descargar los datos de las nano computadoras.

El acceso a la información se puede efectuar de dos maneras:

1. A través de la descarga de datos acumulados en el micro SD de la nano computadora;
2. Visitando el sitio web del proyecto (<https://pi2p.ird.fr>)¹ en línea usando una computadora, celular u otro dispositivo que tenga conexión a internet.

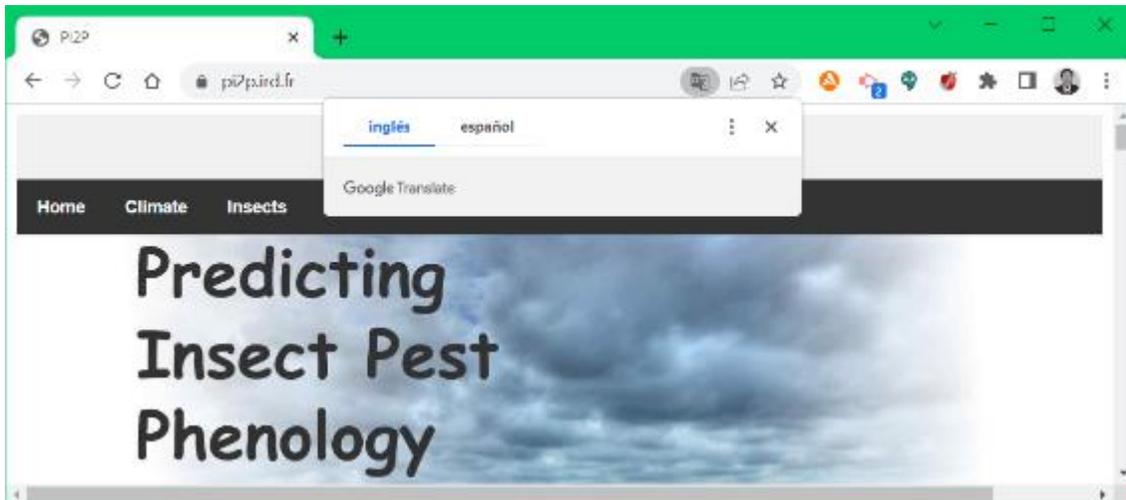
En este caso explicaremos el acceso a través de una computadora o un teléfono celular:

- a. Ingresar desde la computadora o el celular al navegador Google Chrome u otro de su preferencia y colocar el enlace web del proyecto (<https://pi2p.ird.fr>). Viéndose de esta manera en la pantalla:



¹ El acceso a la información en este portal será permanente y su uso es irrestricto para agricultores, técnicos, científicos, estudiantes, etc. en la filosofía de Open Access.

- b. Hacer clic o apretar sobre el texto en azul para ingresar al sitio web del proyecto. El sitio original está en idioma inglés; sin embargo, el navegador puede traducir el sitio al español:



- c. Una vez habilitado el sitio traducido al español, la plataforma se verá así:



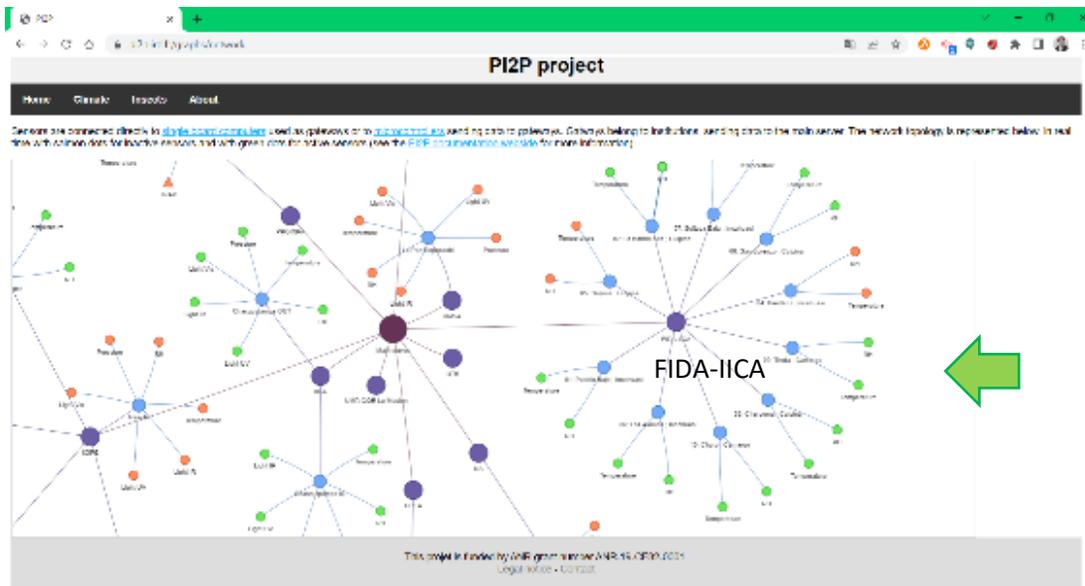
Si desplazamos la imagen de la pantalla de arriba hacia abajo podremos leer información complementaria a cerca del PI2P.

4.4 Acceso a funcionalidades generales del sitio PI2P-IRD

En el botón “Climatizado” se pueden visualizar varios módulos, pero elegiremos los más relevantes, según se muestra a continuación:



Con base en la imagen anterior, accederemos al módulo **A: “Gráfico: topología de red”**, en el cual se muestran todas las nano computadoras que forman parte del PI2P, donde podemos identificar Instituciones y proyectos (círculos morados), nano computadoras instaladas (círculos celestes), sensores instalados transmitiendo datos (círculos verdes) y aquellos que no están transmitiendo datos (círculos rojos). En nuestro caso hemos aproximado hacia una imagen para FIDA-IICA con el Programa INNOVA AF, tal como se ve en la siguiente figura:



Este primer módulo, en condiciones de campo, puede tomar bastante tiempo para mostrar toda la topología del proyecto (incluyendo nano computadoras del IRG instaladas en Francia y Kenia) y por supuesto los equipos del Programa INNOVA AF instalados en Bolivia; por lo que, en dispositivos celulares conectados con datos, se sugiere evitarlo por el tiempo y consumo de crédito de telefonía, o en particular para aquellos usuarios frecuentes que no necesiten ver cada vez esta presentación. Este módulo es de mayor utilidad, para técnicos, investigadores o estudiantes que deseen profundizar conocimiento sobre la temática incorporando, por ejemplo, criterios comparativos por países.

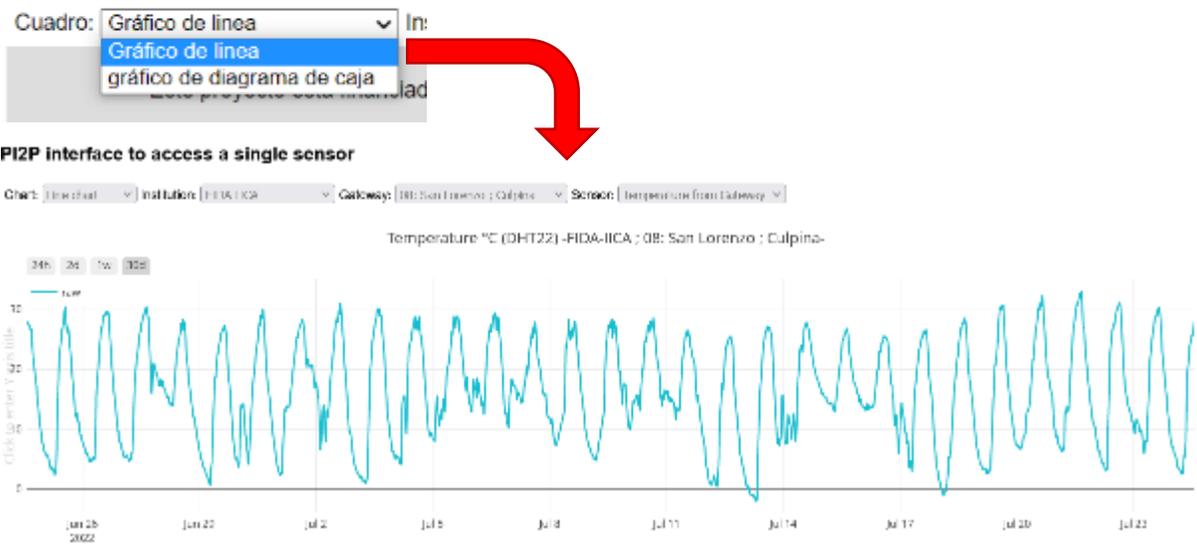
4.5 Visualización de la información almacenada

En el segundo módulo recomendado: “**Gráfico: sensor único**” (B), veremos cuatro espacios requeridos para visualizar los datos de las nano computadoras del Programa INNOVA AF. La imagen se visualizará como sigue:

- a. En la opción “**Cuadro**” seleccionar el tipo de gráfico que la plataforma dispone, pudiendo ser: **gráfico de línea** o **grafico de diagrama de caja**. La información leída será del mismo periodo de tiempo y en la misma unidad, solo cambiará el formato de presentación.

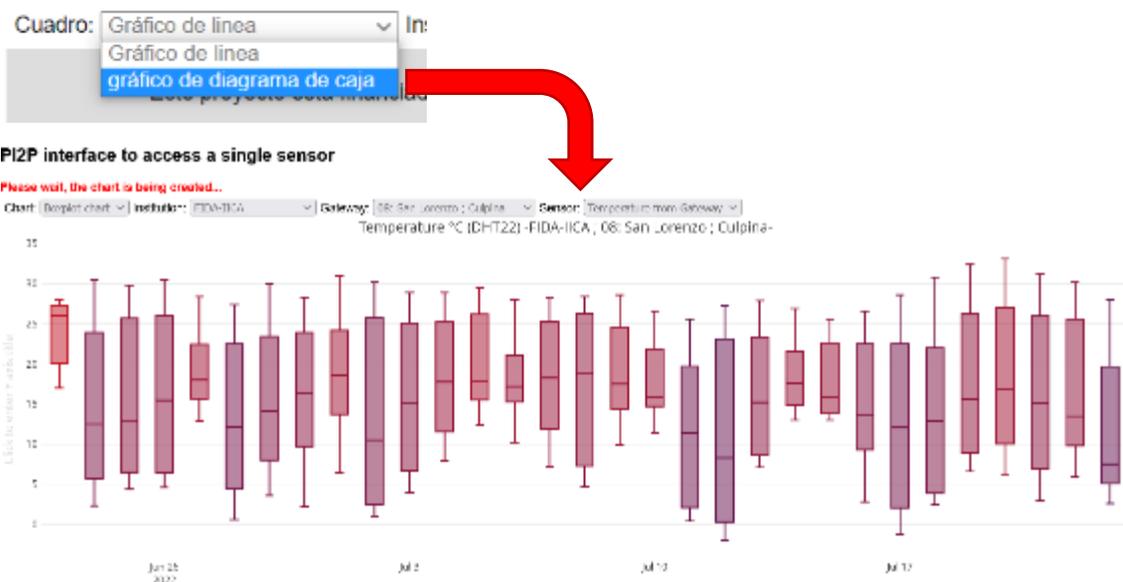
Si se selecciona “gráfico de línea” se despliega el siguiente gráfico:

Interfaz PI2P para acceder



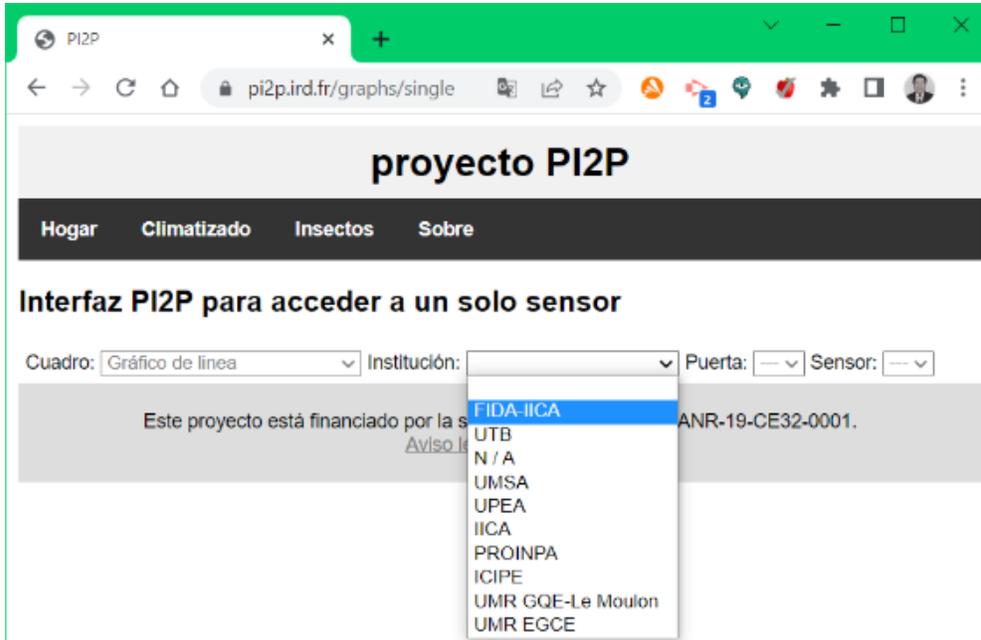
Si se selecciona “gráfico de diagrama de caja” se despliega el siguiente gráfico:

Interfaz PI2P para acceder



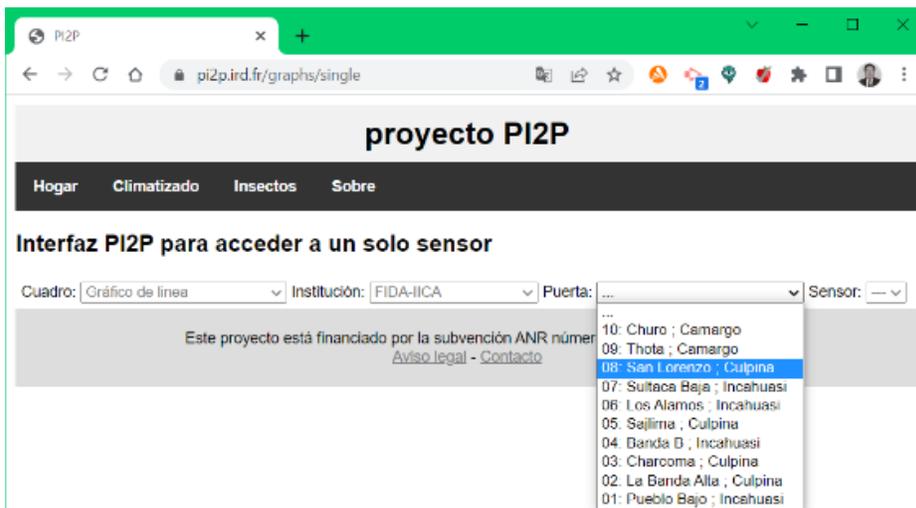
Una vez elegido el tipo de gráfico, completar los campos b, c y d.

- b.** En “**Institución**” elegir aquella de interés. En el caso del Programa INNOVA AF elegiremos FIDA-IICA, como se muestra en la imagen:



Una vez elegida la institución, completar los campos c y d.

- c.** En “**Puerta**” se puede seleccionar cada una de las 10 nano computadoras instaladas con el Programa INNOVA AF en la opción “FIDA-IICA”. Como ejemplo, elegiremos el equipo 08 San Lorenzo, Culpina:

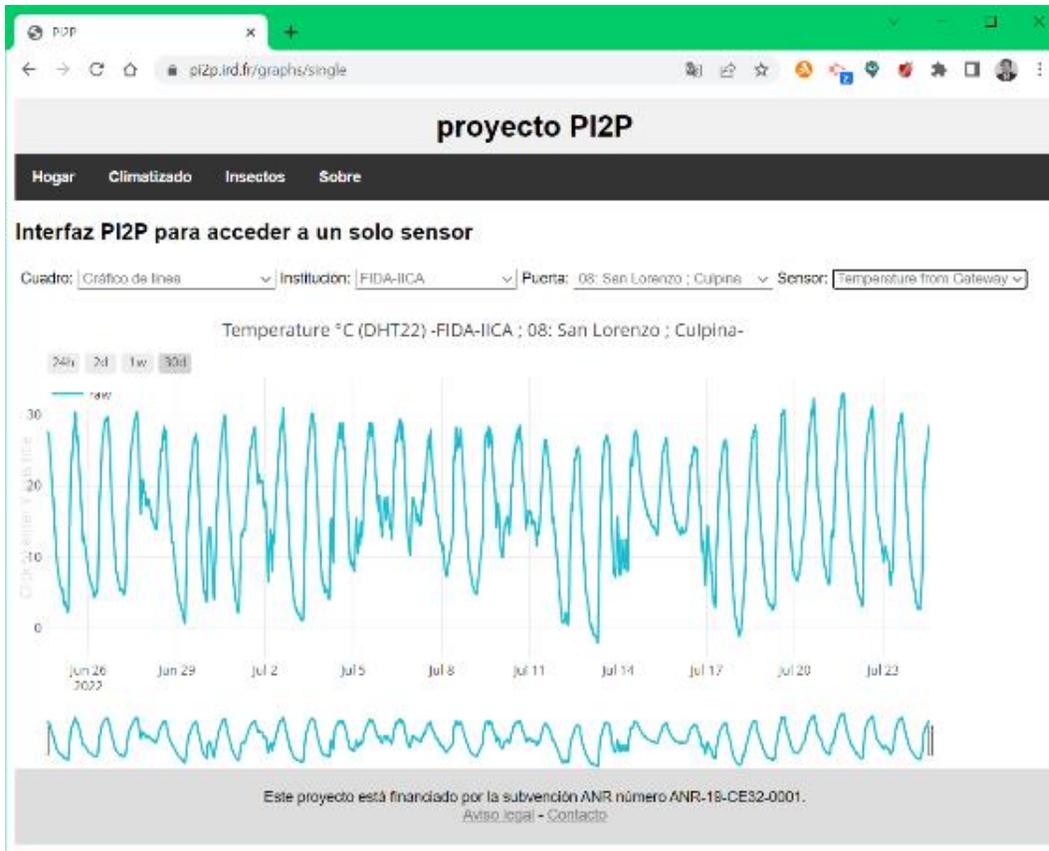


Una vez elegido el equipo instalado en determinada localidad, completar el campo d.

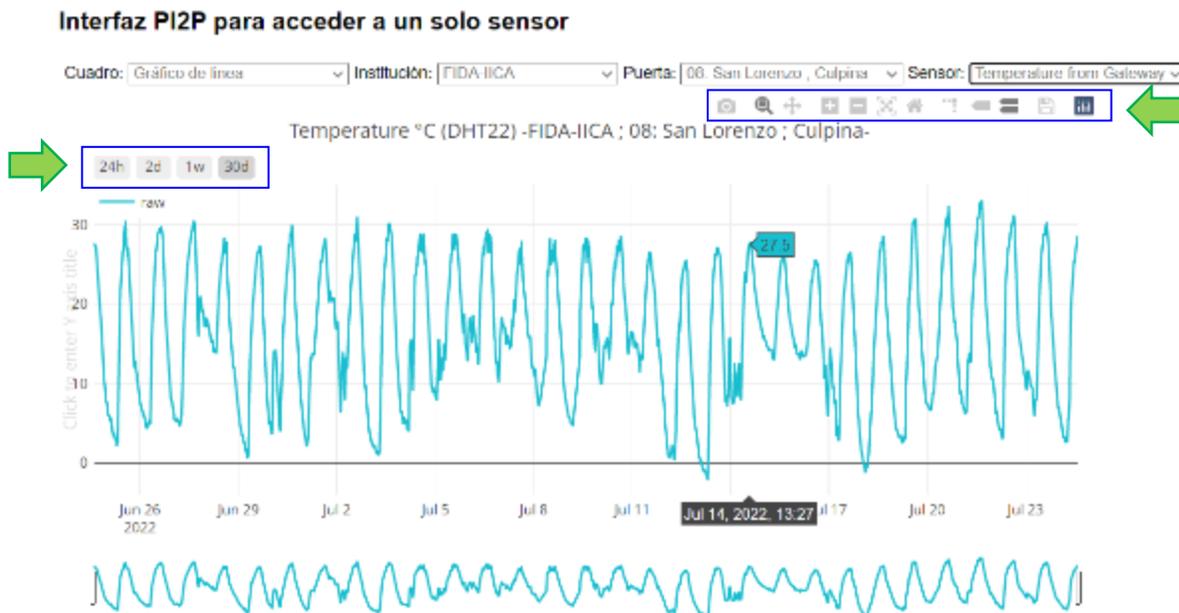
- d. En la opción “**Sensor**” se desplegarán aquellos sensores instalados a cada nano computadora. Para el Programa INNOVA AF, las nano computadoras cuentan con sensores de temperatura (Temperature from Gateway) y humedad relativa (RH from Gateway). Se debe elegir la alternativa de consulta requerida:



Una vez completados todos los campos a, b, c y d, el proceso de presentación de la gráfica se inicia automáticamente y se debe esperar un corto tiempo para que se visualice, tal como la siguiente imagen:



Si hacemos clic sobre cualquier punto de la línea celeste, podremos leer la temperatura en el recuadro que se abre de color celeste (27.5°C); así como la fecha y hora de registro del dato en el recuadro de color negro que se abre (Jul 14, 2022. 13:27), tal como se muestra en la siguiente imagen:



La visualización de las gráficas de temperatura o humedad relativa se da por un periodo de 30 días (30d) por defecto, pero se puede personalizar a 24 horas (24h), 2 días (2d) y 1 semana (1w). Esta opción se habilitará presionando el botón correspondiente en el recuadro que se muestra a continuación, y que está ubicado en la parte superior izquierda de la imagen anterior:



4.6 Descarga de datos

La plataforma permite dos formatos de descarga de datos: en formato de hoja de cálculo y en formato de imagen. La información se almacenará en la unidad del dispositivo en el cual se esté trabajando. Para descargar la información, se debe acudir a los iconos que se muestran a continuación, los cuales están ubicados en la parte superior derecha de la pantalla.



El icono **cámara** permitirá descargar la información en formato de imagen tipo PNG, y el icono **diskette** permitirá descargar un archivo con los datos detallados en formato CSV, el cual puede ser procesado en cualquier hoja de cálculo, tal como se muestra en la siguiente imagen:

	A	B	C	D	E
1	id	sensorId	value	createdAt	updatedAt
2	24800938	130	28.6	2022-07-24T17:48:23.616Z	2022-07-24T17:48:23.616Z
3	24800674	130	28.1	2022-07-24T17:33:17.548Z	2022-07-24T17:33:17.548Z
4	24800420	130	28	2022-07-24T17:18:09.669Z	2022-07-24T17:18:09.669Z
5	24800147	130	27.5	2022-07-24T17:03:03.466Z	2022-07-24T17:03:03.466Z
6	24799896	130	27.1	2022-07-24T16:47:57.606Z	2022-07-24T16:47:57.606Z
7	24799631	130	26.2	2022-07-24T16:32:51.438Z	2022-07-24T16:32:51.438Z
8	24799363	130	26.3	2022-07-24T16:17:44.987Z	2022-07-24T16:17:44.987Z
9	24799012	130	25.4	2022-07-24T16:02:38.651Z	2022-07-24T16:02:38.651Z
10	24798696	130	25.7	2022-07-24T15:47:32.742Z	2022-07-24T15:47:32.742Z
11	24798357	130	25.2	2022-07-24T15:32:27.042Z	2022-07-24T15:32:27.042Z
12	24798018	130	25.5	2022-07-24T15:17:17.497Z	2022-07-24T15:17:17.497Z
13	24797755	130	25	2022-07-24T15:02:11.184Z	2022-07-24T15:02:11.184Z
14	24797422	130	24.3	2022-07-24T14:47:03.975Z	2022-07-24T14:47:03.975Z
15	24797072	130	24.1	2022-07-24T14:31:57.686Z	2022-07-24T14:31:57.686Z
16	24796735	130	23.4	2022-07-24T14:16:49.845Z	2022-07-24T14:16:49.845Z
17	24796375	130	22.8	2022-07-24T14:01:42.377Z	2022-07-24T14:01:42.377Z
18	24796036	130	21.9	2022-07-24T13:46:35.139Z	2022-07-24T13:46:35.139Z
19	24795672	130	21.1	2022-07-24T13:31:27.661Z	2022-07-24T13:31:27.661Z
20	24795327	130	20.5	2022-07-24T13:16:19.412Z	2022-07-24T13:16:19.412Z
21	24794987	130	19.4	2022-07-24T13:01:13.226Z	2022-07-24T13:01:13.226Z
22	24794659	130	17.8	2022-07-24T12:46:04.681Z	2022-07-24T12:46:04.681Z
23	24794303	130	16.1	2022-07-24T12:30:58.567Z	2022-07-24T12:30:58.567Z
24	24793958	130	12.1	2022-07-24T12:15:51.828Z	2022-07-24T12:15:51.828Z

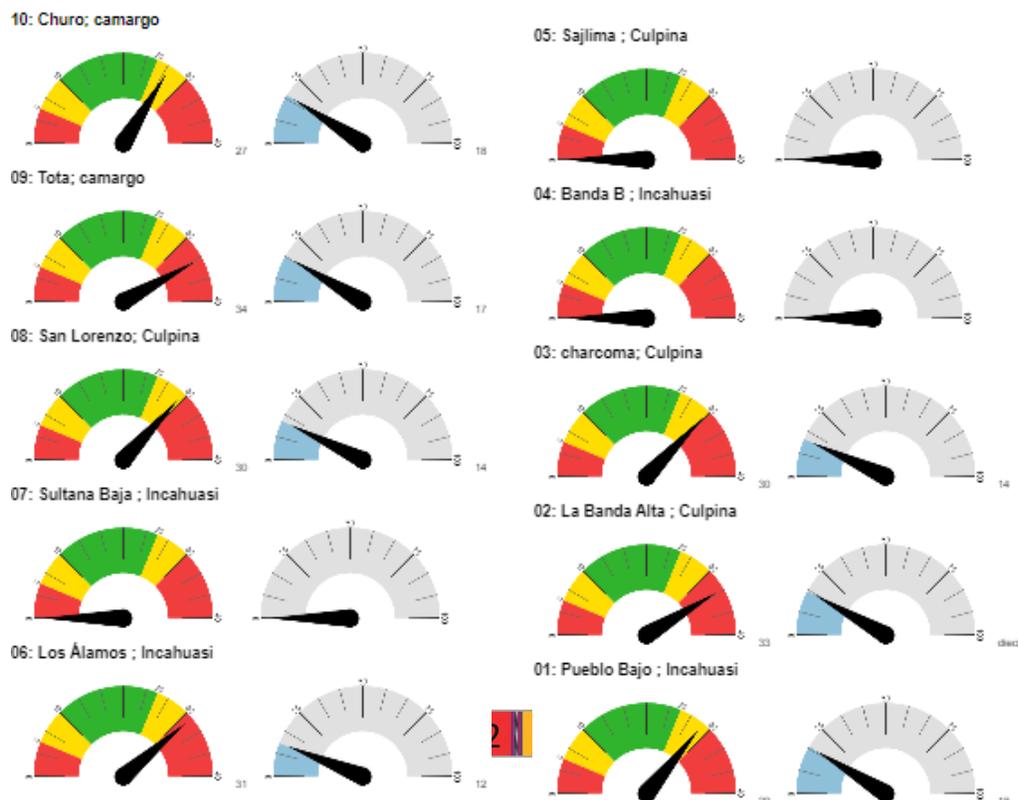
4.7 Visualización rápida de datos climáticos en tiempo real

Una facilidad incorporada a la plataforma PI2P, es el módulo dedicado al Programa INNOVA AF de FIDA-IICA, donde se pueden visualizar los datos en tiempo real, constituyéndose en una herramienta para ser utilizada por la mayoría de los usuarios técnicos y agricultores por su fácil acceso y posibilidad de lectura directa de información en tiempo real.

Para acceder a esta opción, en “**Climatizado**”, ingresar al módulo “**FIDA-IICA: panorama general**”, tal como muestra en la siguiente imagen:



Una vez elegida la opción, el sistema tomará un breve tiempo para mostrar los estados actuales de las diez nano computadoras instaladas en los Cintis, presentando una imagen parecida a la siguiente:



En la siguiente imagen se pueden observar los datos **en tiempo real** de temperatura (°C) y humedad relativa (porcentaje %), para cada una de las nano computadoras instaladas. Los valores ubicados al lado derecho de los gráficos de control (señalados con las flechas verdes) son los datos generados en tiempo real:

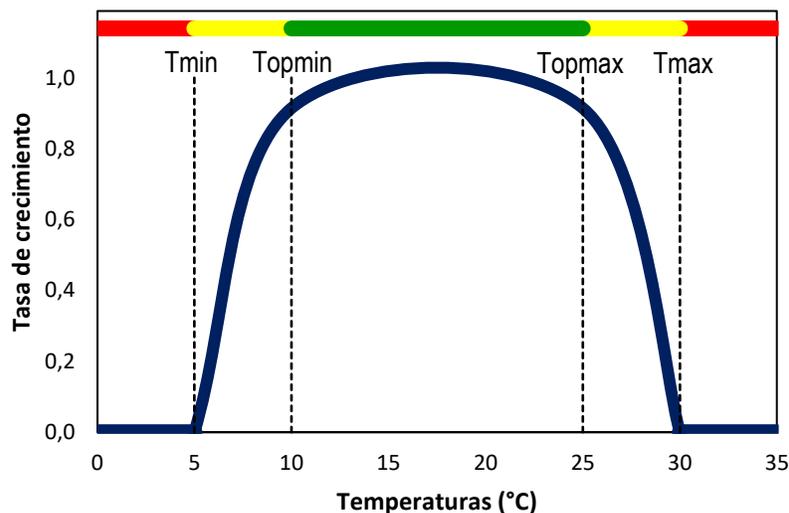


7. Avances y reflexiones para el desarrollo de un futuro sistema básico de alerta local (SAL)

A continuación, y como valor agregado a la presente guía, se presentan algunos conceptos, avances, hallazgos y reflexiones que puedan conducir a futuras iniciativas, más allá del Programa INNOVA AF, dirigidos a desarrollar un sistema básico de alerta local.

El desarrollo del sistema actual y de su funcionamiento continuo permite coleccionar una gran cantidad de datos que puede ser procesado bajo diferentes niveles de complejidad como: datos cardinales o umbrales, regresión lineal y redes neuronales.

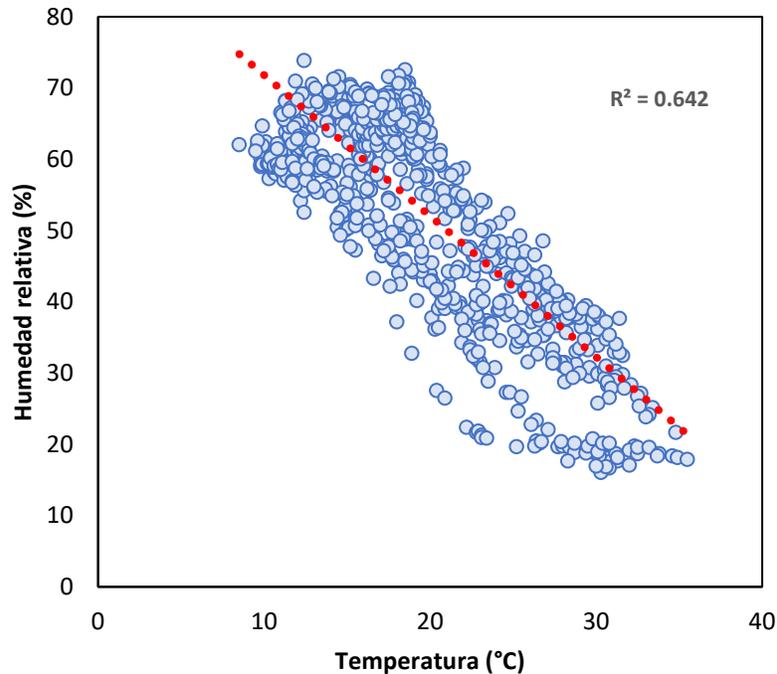
Uno de los algoritmos más simples es a través de la determinación local de condiciones de temperaturas límite para el crecimiento y desarrollo de un cultivo, insecto u otro afectado por la temperatura como ejemplo; estos pueden ser definidos por umbrales, en base al conocimiento local sobre el desarrollo de las plantas u otras especies que se quiera analizar.



A partir de estos datos cardinales se pueden precisar las primeras alertas de comportamiento térmico óptimo (región de color verde), o cuando las tasas de crecimiento son afectadas por factores que podrían estresar como temperatura óptima mínima, o por frío entre los 5 o 10 °C (Tmin – Topmin), o arriba de la temperatura optima máxima entre los 25 a 30 °C (Topmax – Tmax). Se considera un nulo crecimiento o destrucción del tejido vivo a temperatura menores de 5°C y arriba de los 30°C.

En cuanto a la opción de regresión se está trabajando con el IRD en la etapa de análisis para determinar patrones de relación entre la estación lluviosa y seca, para

poder estimar eventos extremos negativos como la presencia de heladas. De momento se han establecido relaciones estadísticas entre temperaturas y humedad relativa; tal el caso de la comunidad Charcoma durante la primera década de abril como se aprecia en la figura



En la figura anterior, se presenta una estrecha correlación directamente proporcional entre temperatura y humedad relativa, significando que mientras más frío, la humedad relativa es elevada, y mientras más altas temperaturas, la humedad relativa es baja. Este patrón se repite en todos los sitios donde se han instalado las nano computadoras y ocurre entre las horas de la mañana (~6:30am) y en horas de la tarde (~2:00pm), respectivamente. Estos patrones de extremos ayudan a prevenir golpes de calor o frío que pueden afectar a los cultivos.

La determinación de heladas potenciales, está basada sobre el cálculo de **punto de rocío** en relación a las dos variables registradas por la nano computadora. Los resultados de estos cálculos no son presentados en esta guía. La opción de análisis más avanzada relacionada a **redes neuronales** está evaluándose en el marco del trabajo del IRD para aplicación de determinación de heladas potenciales durante el ciclo de cultivo. Aspectos con los cuales se permita anticipar la llegada del fenómeno y mitigar su impacto a través de la prevención con aplicación de buenas prácticas.

8. Referencias bibliográficas

Fick, S.E. and R.J. Hijmans, (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.

Rebaudo, F., Soulard, T., Condori, B., Quispe-Tarqui, R., Calatayud, P-A., Chavez, S., Tonnang, H.E.Z., Sequeira, G., and Bessièrè, L. (2022). A low-cost IoT network to monitor microclimate variables in ecosystems. Submitted to *Methods in Ecology and Evolution Journal*.