

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

**DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA
ELECTRIFICACIÓN DE UNA VIVIENDA EN LA VEREDA MANCILLA, MUNICIPIO
DE FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA.**

AUTOR

Cristian Leonardo Forero Tijera
Ingeniero Ambiental

Trabajo Final de Grado

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y GESTIÓN INTEGRAL DE
LOS RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ D.C
2016**

Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para la electrificación de una vivienda en la vereda Mancilla, municipio de Facatativá, Cundinamarca.

Forero Tijera Cristian Leonardo

Especialización en Planeación Ambiental y Gestión Integral de los Recursos Naturales, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

cristian.forero@yahoo.es

RESUMEN

Un sistema fotovoltaico como provisión de energía, representa una solución eco-eficiente y sostenible a los crecientes problemas y crisis energéticas presentadas en el territorio nacional durante las últimas décadas. La implementación de estos sistemas alternativos es viable debido a la considerable cantidad de ventajas que estos exhiben y los evidentes beneficios en materia ambiental. En este artículo se presenta el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para suplir las necesidades energéticas de una vivienda tipo ubicada en la vereda Mancilla perteneciente al municipio de Facatativá en el departamento de Cundinamarca. Para su dimensionamiento, se tuvo en cuenta entre otras características, el cálculo del consumo y demanda energética de la vivienda y un análisis de las condiciones meteorológicas.

Palabras clave: Sistema fotovoltaico, demanda, condiciones meteorológicas.

ABSTRACT

A photovoltaic system as energy supplier represents an eco-efficient and sustainable solution to the growing problems presented and energy crises in the country during the last decades. The implementation of these alternative systems is feasible due to the considerable amount of advantages that they exhibit and the obvious environmental benefits. This article discusses the sizing of a photovoltaic system to meet the energy needs of a typical house located in the village Mancilla in the municipality of Facatativá in the department of Cundinamarca. For sizing, among other features are taken into consideration, the calculation of energy consumption and demand for housing and an analysis of the weather.

Key words: Photovoltaic system, intake, demand, meteorological conditions.

INTRODUCCIÓN

La demanda energética está incrementando en todo el mundo, por esta razón, en la actualidad se busca la forma de adquirir algún tipo de energía para satisfacer las necesidades que cada vez son mayores. Y mientras estas necesidades aumentan, los recursos energéticos más comunes (como el petróleo, carbón y gas natural), son cada vez más escasos [1].

Es por lo anterior que las investigaciones acerca de la generación de energía a partir de fuentes alternativas, como la radiación solar, en las últimas décadas se han intensificado de manera especial [2]. Muchas de las investigaciones realizadas coinciden en concluir que la energía solar es una de las más importantes, debido a su abundancia, sostenibilidad y bajo costo [3].

Particularmente, los antecedentes de la tecnología solar fotovoltaica datan de 1954, cuando investigadores de los Estados Unidos en representación de los laboratorios Bell desarrollaron la primera celda solar de estado sólido usando silicio cristalino como material fotovoltaico [4]. La energía solar fue usada inicialmente en los programas espaciales, y a partir de la década de los 70 comenzaron los programas encaminados al desarrollo de nuevos materiales

fotovoltaicos con el propósito de fabricar módulos solares para uso terrestre [5]. En la actualidad, el uso de la energía solar está experimentando un crecimiento inminente [6].

Tal y como lo describe el “*Manual sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica*”, documento financiado por del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), un sistema fotovoltaico se refiere al conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada
- Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada

En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas son:

- i. El módulo o panel fotovoltaico
- ii. La batería
- iii. El regulador de carga
- iv. El inversor
- v. Las cargas de aplicación (el consumo)

La **Figura 1**, muestra el esquema general de un sistema fotovoltaico simple.

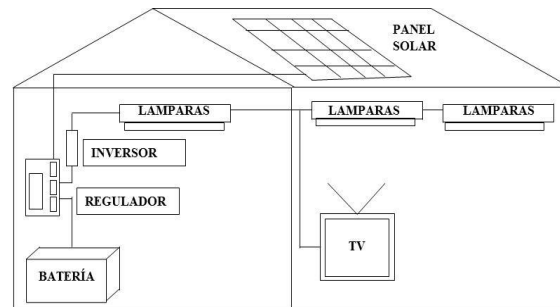


Figura 1. Esquema simple de un sistema fotovoltaico.

En instalaciones fotovoltaicas a pequeña escala es frecuente, además de los equipos antes listados, el uso de fusibles para la protección del sistema. Se deben considerar además algunas pérdidas energéticas dadas por el inversor instalado con un porcentaje que oscila entre un 5 y 7%, reducciones de energía en la línea de distribución con una aproximación cercana al 3 %, Para establecer el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, adicional a las pérdidas en los componentes del sistema, se deben considerar las especificaciones técnicas de funcionamiento de los componentes que son reportadas por el fabricante [7].

Para desarrollar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a ser implementado en una vivienda, se deben analizar al menos las siguientes variables:

- Requerimiento energético diario: calculado por medio de la inspección de la infraestructura eléctrica que compone la vivienda, ajustado al número de horas día que se requiere el uso de cada uno de los equipos o dispositivos a ser utilizados en la vivienda [8].
- Condiciones meteorológicas de la zona: se analizan variables tales como; radiación solar, nubosidad, máximos y mínimos solares, brillo solar, posicionamiento geográfico del área de estudio, número de horas con presencia de radiación solar y periodos climáticos [8].

A nivel mundial, algunos gobiernos están comenzando a impulsar la utilización de sistemas no convencionales en base a energías renovables y motivando a la población para su implementación. Algunos de estos países son: Alemania, Japón, EEUU, Grecia, Italia y Francia, los cuales apoyan económicamente las instalaciones de dichos sistemas con el objetivo de diversificar las opciones que actualmente existen en relación con la generación de energía y así evitar depender de los sistemas convencionales de generación eléctrica [9].

Tal es el caso de la planta de 1Mega watt que se encuentra operando en Toledo España y el caso en Estados Unidos donde actualmente está en operación una planta Fotovoltaica de 2 Mega watts que es operada directamente por la municipalidad de Sacramento en el estado de California, dicha planta se encuentra funcionando en los terrenos que pertenecieron a una planta Nuclear que fue clausurada [10]

Por otro lado, aunque existen iniciativas de impulsar el desarrollo de energías renovables en Colombia, particularmente en las Zonas no Interconectadas (ZNI), la formulación de proyectos en esta materia aún se encuentra en su etapa inicial. Sin embargo, los estudios desarrollados hasta el momento apuntan a que se debe seguir avanzando y desarrollando nuevas propuestas frente al tema en el territorio nacional [11].

En 1992 el Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas, (INEA) y la Comisión Nacional de Energía realizaron el documento, “*Bases para la formulación de un plan de fuentes nuevas y renovables para Colombia*”, donde se concluyó acerca de la importancia de continuar con investigaciones que permitieran generar conocimiento e información de soporte para la toma de decisiones en materia de suministro de energía a través de fuentes no convencionales. Atendiendo a las recomendaciones del documento se logran desarrollar varias investigaciones; entre ellas el Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia, elaborado por la INEA en 1996; el Atlas de Radiación Solar de Colombia del año 2005 y el Atlas de Viento y de Energía Eólica de Colombia del año 2006, desarrollados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

Posteriormente, en cabeza de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y a cargo del consorcio energético Corporación para la Energía y el Medio Ambiente (Corpoema), se desarrolló un estudio detallado de las Fuentes No Convencionales de Energías (FNCE) y de su potencial en Colombia, con el fin de formular un plan para fomentar el desarrollo de las FNCE en Colombia. El informe final de este estudio, “*Formulación de un Plan de Desarrollo para las Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia (PDFNCE)*”, fue presentado en diciembre del 2010 y consta de tres volúmenes. El primer volumen, Plan de Desarrollo para Las Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia (PDFNCE), presenta un resumen del diagnóstico y la formulación del plan de desarrollo para las FNCE, con objetivos y estrategias. El segundo volumen, Diagnóstico de la FNCE en Colombia, presenta un diagnóstico, incluyendo el marco legal y regulatorio para las FNCE, aspectos ambientales y proyectos desarrollados. El tercer volumen, Elementos de Política, Riesgos ante El Cambio Climático, Complementariedad entre las FNCE y el SIN, y Costos Indicativos de las FNCE, presenta un análisis de la política internacional referente a las FNCE y define elementos de política para Colombia; y posteriormente, presenta los costos de capital y generación para las diferentes tecnologías. Sin embargo, no se calculan los costos para soluciones particulares en cada municipio.

En el caso de los municipios que integran el departamento de Cundinamarca, el porcentaje de cobertura de energía eléctrica que se extiende a casi la totalidad de sus habitantes, y tomando como ejemplo el municipio de Facatativá dicho porcentaje se encuentra cercano al 99,3% en las zona urbana y del 91,2% en las zona rural [12], sin embargo aún existen áreas que presentan viviendas aisladas donde el suministro del fluido eléctrico no se ha dado, principalmente por las características geográficas y naturales en las que se encuentran ubicadas, características que incrementan los costos de transporte y suministro de la energía [13].

El municipio de Facatativá se localiza en el Departamento de Cundinamarca, a 36 Km de Bogotá, capital de la República de Colombia, en la vía troncal de occidente Medellín – Bogotá, su posición geográfica es de 4°45' 25" latitud Norte y 74° 21'00" Longitud Oeste. Tiene una extensión de 159,60 km² de los cuales 154,5 Km² pertenecen a la zona rural y 5,1 Km² a la zona urbana. Con una altitud de 2.586 mts sobre el nivel del mar [14].

El municipio está conformado por 14 veredas, 16 centros poblados y 109 barrios. Las veredas son: La Tribuna, Mancilla, Tierra Grata, Moyano, Pueblo Viejo, La Selva, El Prado, Cuatro esquinas de Bermeo, Los Manzanos, San Rafael, Tierra Morada, Paso Ancho, El corzo y Corito [14].



Figura 2. Ubicación del municipio de Facatativá. Fuente: PLAN DE DESARROLLO ECONÓMICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y DE OBRAS PÚBLICAS: “TODOS SOMOS FACATATIVÁ”, 2012-2015.

De acuerdo con el “Atlas de Radiación Solar de Colombia” desarrollado por la UPME y el IDEAM, la región que abarca el municipio de Facatativá recibe una radiación promedio día de $3,9 \text{ kWh/m}^2$, resultado que se puede verificar analizando los rangos de radiación solar global que se muestran en la **Figura 3** [15]:

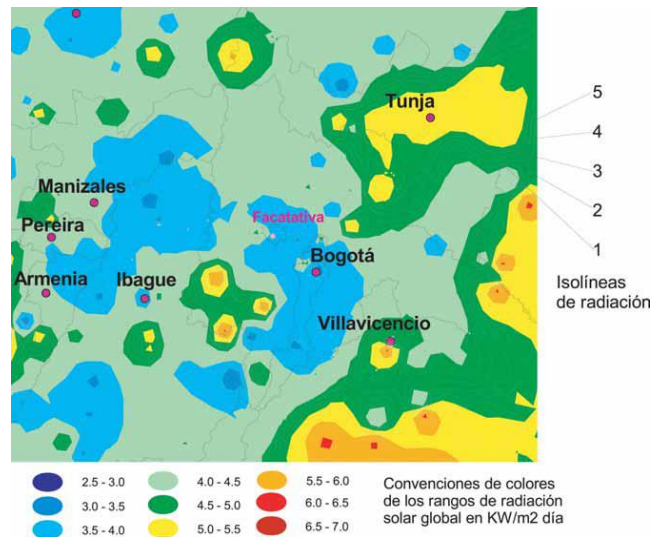


Figura 3. Rangos de radiación solar global.

Fuente: “Atlas de Radiación Solar de Colombia”, UPME, IDEAM, 2005.

Por otro lado, los valores medios de brillo solar encontrados en el municipio de Facatativá son: 455.6 cal / mm. [16]. El promedio anual de brillo solar en el municipio es de 1.715 horas sol, el cual tiene una inclinación aproximada de 4 grados con respecto al Meridiano de Greenwich o Línea del Ecuador [17]. Acerca de la nubosidad, se puede concluir que los meses de febrero a mayo presentan la mayor cantidad de días con presencia de nubes, periodo que coincide con el de lluvias en la región andina [17].

La vereda Mancilla es una de las de mayor extensión en el municipio con alrededor de 1,3 Km² [14], dicha unidad territorial pese a su cercanía con el casco urbano no cuenta con el servicio de electricidad en el 100% de las viviendas [12]. En aproximadamente 16 de las 380 viviendas existentes en la vereda no se tiene acceso a la energía eléctrica y en las que se suministra el servicio se realiza de manera intermitente [13].

Las viviendas que no cuentan con energía eléctrica en la vereda en su mayoría están compuestas por [13]:

- 2 dormitorios;
- 1 cocina-comedor;
- 1 baño.

El presente estudio, detalla las variables técnicas a tener en cuenta para desarrollar un proyecto de electrificación y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico en una vivienda tipo perteneciente a una ZNI en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá, departamento de Cundinamarca.

1. METODOLOGÍA

Para la recolección de información se contó con el apoyo de la Junta de Acción Comunal de la Vereda Mancilla. Además, se solicitó información oficial a la administración municipal y a la Empresa de Energía de Cundinamarca (EEC).

El proceso metodológico se llevó a cabo desarrollando los siguientes pasos:

1. Radicación de oficios de solicitud de información ante entidades públicas del municipio (Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente, Secretaría de Obras Públicas y Secretaría de Planeación) y ante la Empresa de Energía de Cundinamarca (EEC), solicitando entre otros, datos del número de viviendas rurales que no cuentan con suministro de energía eléctrica en el área de estudio, programas o proyectos para ampliar la cobertura de energía

eléctrica en el municipio, características socioeconómicas y de las viviendas en el área objeto de estudio, información de estudios climáticos en el área de estudio.

2. Diligenciamiento de una ficha veredal con el acompañamiento del presidente de la Junta de Acción Comunal, solicitando, entre otros, datos del número de viviendas no electrificadas en la vereda y características generales de las mismas.

3. Visita de inspección visual y diligenciamiento de una lista de chequeo en 8 de las aproximadamente 16 viviendas que no cuentan con el suministro de energía eléctrica, verificando características generales e infraestructura eléctrica interna.

Finalmente, se realizó una inspección visual y caracterización completa, que permitiera determinar las necesidades energéticas de una de las viviendas tipo seleccionada, con el fin de establecer el consumo de energía, teniendo en cuenta datos como; número de horas al día en las que se requiere el suministro de electricidad y el consumo en W de los diferentes electrodomésticos y bombillos que componen la vivienda tipo.

La recopilación de esta última información se realizó mediante la aplicación de una encuesta al propietario de la vivienda, inspección visual y mediante un registro fotográfico de las áreas y sistema eléctrico interno de la vivienda.

Los datos obtenidos de dicha inspección y caracterización fueron tabulados con el fin de calcular el consumo en Wh demandados por la vivienda.

La revisión de los datos obtenidos producto de la visita en campo y la suministrada por las entidades oficiales del municipio fue empleada como punto de partida para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico en viviendas no conectadas al sistema de suministro del municipio.

Finalmente, luego de analizar la información recolectada, se definió un sistema fotovoltaico para la vivienda tipo, aplicando modelos de cálculo y de estimación de consumo energético ajustados a los requerimientos de la vivienda objeto de estudio.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentará a continuación una metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, basada en las características propias de demanda energética en una de las viviendas no electrificadas presente en el área de estudio.

La vivienda tipo seleccionada para el estudio se encuentra ubicada al Norte de la vereda Mancilla, a unos 5 Km de la vía principal que conecta la vereda con el casco urbano del municipio de Facatativá. Las áreas que componen la vivienda están distribuidas de la siguiente manera:

- 2 Habitaciones
- Cocina Comedor
- Baño

Por medio de la entrevista con los residentes de la vivienda se identificó el número de horas/día que se utiliza cada dispositivo al interior de la misma, verificando las necesidades teóricas de consumo.

En la **Fotografía 1**, se puede apreciar la vivienda tipo seleccionada para realizar la caracterización de consumo energético.



Fotografía 1. Vivienda tipo Seleccionada.

En la **Tabla 1**, se muestra el consumo energético correspondiente a la vivienda tipo seleccionada. Dicho consumo es el requerido para desarrollar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Tabla 1. Requerimiento energético diario.

Lugar	Artefacto	Nº	Consumo [w]	Horas de uso [hs/día]	Demanda diaria [wh/día]
Cuarto 1	Bombillo Fluorescente	1	20	3	60
Cuarto 2	Bombillo Fluorescente	1	20	3	60
Cocina	Bombillo Fluorescente	1	20	4	80
	Radio	1	5	4	20
Baño	Bombillo Fluorescente	1	20	2	40

De la **Tabla 1**, se obtiene que el requerimiento energético diario para la vivienda tipo es de 260 Wh/día.

Considerando la eficiencia del sistema fotovoltaico, se establece un rendimiento del inversor del 93%, además de una pérdida en la línea de distribución de un 3 %.

Teniendo en cuenta la eficiencia de los dispositivos y la pérdida en la línea de distribución interna, se establece que demanda de energía a la salida del banco de baterías es:

$$E_{total\ diaria} = 278,7 \text{ Wh/día.}$$

Por lo tanto la demanda correspondiente a la vivienda es de:

$$E_{total\ diaria} = 0,28 \text{ KWh/día.}$$

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para determinar el número de paneles necesarios para el tipo de consumo en la vivienda, se aplicó la siguiente ecuación:

$$NP = \frac{Fs \times DM}{HPS \times PFP}$$

Dónde:

NP: Número de paneles.

F_s: Factor de seguridad (tiene en cuenta entre otras cosas el envejecimiento del panel), aquí considerado de un valor 1,2.

DM: Demanda diaria máxima de consumo de energía, en este caso es 278,7 Wh/día.

HPS: representa la cantidad de horas equivalente a la de máxima radiación; para el caso de Facatativá y sus alrededores es de 4 hs/día.

PPF: Es la potencia pico del panel, dada por el fabricante, para el estudio se propone un módulo YL250P, cuya potencia pico es de 250.W

El número de paneles requerido para satisfacer la demanda de esta vivienda es:

$$NP = \frac{(1,2 \times 278,7)}{(4 \times 250)} = 3,34 \text{ Paneles} \pm 4 \text{ Paneles}$$

Dimensionamiento del banco de baterías

Para calcular el número de baterías necesarios para almacenar la energía, se utiliza la siguiente ecuación:

$$NB = \frac{DM \times TA}{ALM \times CM}$$

Dónde:

NB: Número de baterías

DM: Demanda diaria máxima de consumo de energía.

TA: Tiempo de autonomía del sistema en ausencia de radiación, en este caso se eligió 3 días por las características de la zona

ALM: Capacidad de almacenamiento de la batería. Se eligieron baterías estacionarias de vasos tubulares de 800 Ah. Por lo tanto es igual a 9600 WhHPS:

CM: Valor de descarga recomendado por el fabricante. $CM = 0,5$

$$NB = \frac{278,7 \times 3}{9600 \times 0,5} = 1 \text{ Batería}$$

Al momento de instalar la batería es recomendable conectarlas a una tensión de salida de 12 V.

3. CONCLUSIONES

La disponibilidad del recurso solar en el área de estudio presenta un gran potencial para la implementación de sistemas fotovoltaicos como fuente alternativa de suministro de energía.

Si bien se estima un consumo promedio de 27,87 KWh/día, en el escenario de mayor consumo, eventualmente se puede presentar un excedente de energía que puede ser aprovechado en otros dispositivos, dicho excedente puede ser resultante de una mayor radiación solar en el área de estudio o un número mayor de horas con máxima radiación.

La propuesta de energización planteada en este estudio presenta viabilidad desde el punto de vista técnico, se concluye que se cubren las necesidades energéticas de la vivienda, respondiendo a las necesidades del área de estudio donde hasta el momento no se tienen proyectadas otras alternativas de suministro energético.

4. REFERENCIAS

- [1] L. H. Berrío y C. Zuluaga, «Smart Grid and solar photovoltaic energy as renewable energy source for the distributed generation in the global energy context,» *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 32, n° 2, pp. 370-396, 2014.
- [2] L. McLauchlan y M. Mehrubeoglu, «A survey of green energy technology and policy,» de *Green Technologies*, Grapevine, 2010.

- [3] R. Arreola Gómez, A. Quevedo Nolasco, M. Castro Popoca, Á. Bravo Vinaja y D. Reyes Muñoz, «Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, n° 8, pp. 1715-1727, 2015.
- [4] D. Chapin, C. Fuller y G. Pearson, «A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power,» *appl*, vol. II, n° 5, pp. 66-82, 2011.
- [5] J. Oyola y G. Gordillo, «Estado del arte de los materiales fotovoltaicos y de la tecnología solar fotovoltaica,» *Prospectiva*, vol. 6, n° 2, pp. 11-15, 2007.
- [6] H. Rodríguez, «Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas,» *Ingeniería Universidad de los Andes*, vol. 28, n° 1, pp. 83-89, 2008.
- [7] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Manuales sobre energía renovable (Solar Fotovoltaica), San José: BUN-CA, 2002.
- [8] N. Sogari, «Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para proveer de energía a una comunidad,» *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE*, vol. I, n° 1, pp. 1-8, 2003.
- [9] SIMEC , «Proyecto SIMEC CHILE SRL,» Santiago, 2010.
- [10] J. Morales, «APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS,» UNIVERSIDAD VERACRUZANA, XALAPA, 2012.
- [11] E. Natalia, «ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS A PARTIR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES SOLAR Y EÓLICA,» UNIVERSIDAD JAVERIANA, Bogotá, 2011.
- [12] SISBEN, «Estadísticas de Cundinamarca,» Bogotá, 2010.
- [13] G. Sanchez, Interviewee, *Junta de Acción Comunal Mancilla*. [Entrevista]. 17 Mayo 2016.
- [14] Municipio de Facatativá , «Plan de Desarrollo "Todos somos Facatativá",» Facatativá, 2012-2015.
- [15] UPME, IDEAM, «Atlas de Radiación Solar de Colombia,» Bogotá, 2006.
- [16] Municipio de Facatativá, «Agenda Ambiental,» Facatativá, 2014.
- [17] A. Rico, «Estudio climático Facatativá,» Universidad de Cundinamarca, Facatativá, 2010.